

К.М. Хайлов
А.В. Празукин
Д.М. Смолев
Ю.Ю. Юрченко

ШКОЛА

БИОГЕОЭКОЛОГИИ



Севастополь, 2009

К.М. ХАЙЛОВ
А.В. ПРАЗУКИН
Д.М. СМОЛЕВ
Ю.Ю. ЮРЧЕНКО

ШКОЛА БИОГЕОЭКОЛОГИИ

г. Севастополь
НПЦ «ЭКОСИ - Гидрофизика»
2009

УДК [502.2+574+57]

Хайлов К.М., Празукин А.В., Смолев Д.М., Юрченко Ю.Ю. Школа биогеоэкологии. – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2009. – 325 с., ил. 138, табл. 2.

ISBN 978-966-442-034-8

Книга представляет собой вариант лекционного изложения экологии, существенно приближенной к условиям глобализации людской жизни и кризисным реалиям природы и социума начала XXI века. Фактологическая база книги междисциплинарна, включает сведения из разных наук о Земле, жизни и обществе. Материал скомпонован в девять учебных тем с итоговым разделом. Изложение ведется главным образом в общенаучных терминах, на параметрической основе. Книга рассчитана на молодых преподавателей университетов и творческих работников средней школы, студентов ВУЗов природоведческой ориентации и на научных сотрудников естественных специальностей. Может служить наукоемким субстратом для личного учебного и научного творчества.

УДК [502.2+574+57]

Хайлов К. М., Празукин О. В., Смолев Д. М., Юрченко Ю. Ю. Школа біогеоекології. – Севастополь: ЕКОСІ-Гідрофізика, 2009. – 325 с., ил. 138, табл. 2 .

Книга являє собою варіант лекційного викладу екології, істотно орієнтований до умов глобалізації людського життя і кризових реалій природи і соціума початку XXI століття. Фактологічна база книги міждисциплінарна, включає дані із різних наук про Землю, життя і суспільство. Матеріал скомпоновано в дев'ять учбових тем з підсумковим розділом. Виклад йде головним чином в загальнонаукових термінах, на параметричній основі. Книга розрахована на молодих викладачів університетів і творчих робітників середньої школи, студентів ВУЗів природознавчої орієнтації і на наукових співробітників природних спеціальностей. Може служити наукоемним субстратом для особового учбової і наукової творчості.

K.M, Khailov, A.V. Prazukin, D.M. Smolev, Yu.Yu.Yurchenko The school of biogeoeecology. – Sevastopol: EKOSSEE-Gidrofizika, 2009. – 325 pp., fig. 138, tabl. 2 .

This book is a course of lectures in a new field of ecology, directed to problems in human society and crisis in the environment at the beginning of XXI century. The course is interdisciplinary and include data from the ecology, biology, geography, limnology, oceanology, soil science an some other. The course include nine main topics. Most of them are based on the concepts of Earth Science, Biology and Biospherology (V.I. Vernadsky). The most of dada are presented in a figures (graphs, schemes). The book addressed mainly to university teachers of different specializations and to the advanced college teachers; it may be used as a scientific guide for the individual creative work in the interdisciplinary aducation.

ISBN 978-966-442-034-8

© Хайлов Кирилл Михайлович, 2009
© Празукин Александр Васильевич, 2009
© Смолев Дмитрий Михайлович, 2009
© Юрченко Юрий Юрьевич, 2009

Нашим родителям посвящается,

*Екатерине Власьевне (1900 - 1972)
и Михаилу Тимофеевичу (1898 - 1941)
Хайловым,*

*Анне Арсеньевне
и Василию Антоновичу (1924 - 2000)
Празукиным,*

*Галине Сергеевне
и Михаилу Николаевичу
Смолевым,*

*Валентине Михайловне
и Юрию Александровичу
Юрченко*

Кому и как этой книгой можно воспользоваться?

Эта книга готовилась не для спокойной жизни, а для такой, как сегодня. В условиях сложно текущей глобализации, эксперты и СМИ двух наших издревле близких стран, Украины и России, предупреждают: проблемы XXI века потребуют наукоемкого образования и системного охвата мира во всех его главных проявлениях. Семейства узко специализированных наук и учебных предметов по образцу XX века теперь уже недостаточно. К глобальному миру предстоит адаптироваться, а это значит – учиться и переучиваться. Эксперты и лидеры ведущих мировых стран заявили об этом ясно и уже готовятся. Свои государственные системы образования они оперативно начинают усиливать, развивать и ориентировать на новые времена. Хорошо бы, в России и в Украине то и другое делалось сообща; было бы легче и дешевле.

Книга рассчитана не на рядовых студентов (хотя амбициозным почему бы ее не полистать?), а, прежде всего, на молодых преподавателей разных природоведческих дисциплин университетского и высшего школьного уровня. Учебники для преподавателей имеются, но чаще всего их философия – давать новинки, современные дополнения к уже имеющимся учебным предметам и утвержденным программам. Цель авторов – дать не очередную порцию кормовых добавок к экологии, а новый разворот биогеоэкологической, и даже шире – природоведческой, а теперь еще и остро-социальной тематики начала XXI века. Сложность и трудность лишь в том, что эта тематика гораздо шире и более наукоемка, чем в классической, по Одуму, экологии.

Авторы полагают, что, наряду с уже существующими, необходим курс лекций в котором фактология земного природоведения ляжет не в говорливый, многостраничный текст, а в графики – компактный, легко обозримый и знакомый даже школьникам тип свертки серьезных данных. Текст сам по себе несложен, а приводимые графики его сопровождают и разъясняют. Чтение лекций становится чтением графиков (на их языке). Свой опыт преподавания в университетах и в медицинской среде по логике этой *Школы* авторы уже имеют. Что касается текста книги, то главная его роль – дать доступный вариант осмысления болевых точек в тревожной жизни начала века. Из них в *Школе* выделены три.

Первая боль – это сложное, кризисное, нестабильное состояние среды обитания, включая и климат, который экологов классического периода не беспокоил. **Вторая боль** – острая необходимость в кризисное время опереться на более естественные, чем люди долго себе позволяли, правила обитания. Эти правила можно уяснить себе только заново осмыслив само это понятие “обитание на Земле”. Мы все стоим перед императивом: отнюдь не

потясь к обезьянам, перенять у разных земных обитателей более мягкую, ближе к природе и не столь прожорливую и грязную “манеру жизни”. И **третья боль** – сама биосфера, ее опасная химическая отравленность и не менее опасная нестабильность состояния. Как в таких условиях жить на Земле дальше и не станет ли хуже?

Повышенная наукоемкость и обилие графиков требуют пояснения. Авторы полагают, что кто-то, заинтересовавшись лишь тремя-четырьмя учебными темами из девяти, упростит для себя общение с книгой. Кто-то, пожелав узнать об упомянутом выше “осмыслении болевых точек”, обратит внимание только на текст и его главные смыслы. Для краткого знакомства с учебными целями *Школы* хватит последовательного прочтения всего десятка страниц – введений к темам. А кто-то будет держать книгу, как держат профессиональный справочник, и тогда графики – это открытый взгляду обширный банк данных из географии, биологии, фитоэкологии, зооэкологии, океанологии, лимнологии и других наук. **Школа – это концептуальный проводник и научный источник для подготовки молодыми университетскими преподавателями и творческими работками средней школы своих собственных лекций по экологии и по другим природоведческим дисциплинам, в медицинской их группе в том числе.** Можно сказать и иначе: книга – **научный и методологический субстрат для личного учебного творчества и междисциплинарного развития.** В современных условиях и то, и другое многим может понадобиться, а творческое сближение медицины с экологией будет лишь возрастать.

Попытки межнаучного видения обитаемой области Земли в принципе не новы. Для любых авторов они рискованны, но риск необходим, а недостаточность своей компетентности мы вполне осознаем. *Школа* не категорична, а дискурсивна. В ней предлагается лишь один из возможных вариантов учебного видения биосферы с человечеством внутри, а нужны и другие. Мы надеемся, что свои варианты предложат и опубликуют новые авторы, со своих позиций. Каким XXI век окажется, и какое образование для него потребуется, сегодня не знает никто. Искать предстоит сообща.

Спасибо.

Севастополь – Москва – Одесса
29 марта 2009 г.

Часть I

Обитаемая область Земли в начале XXI века

Тема 1

Земля, наука, образование

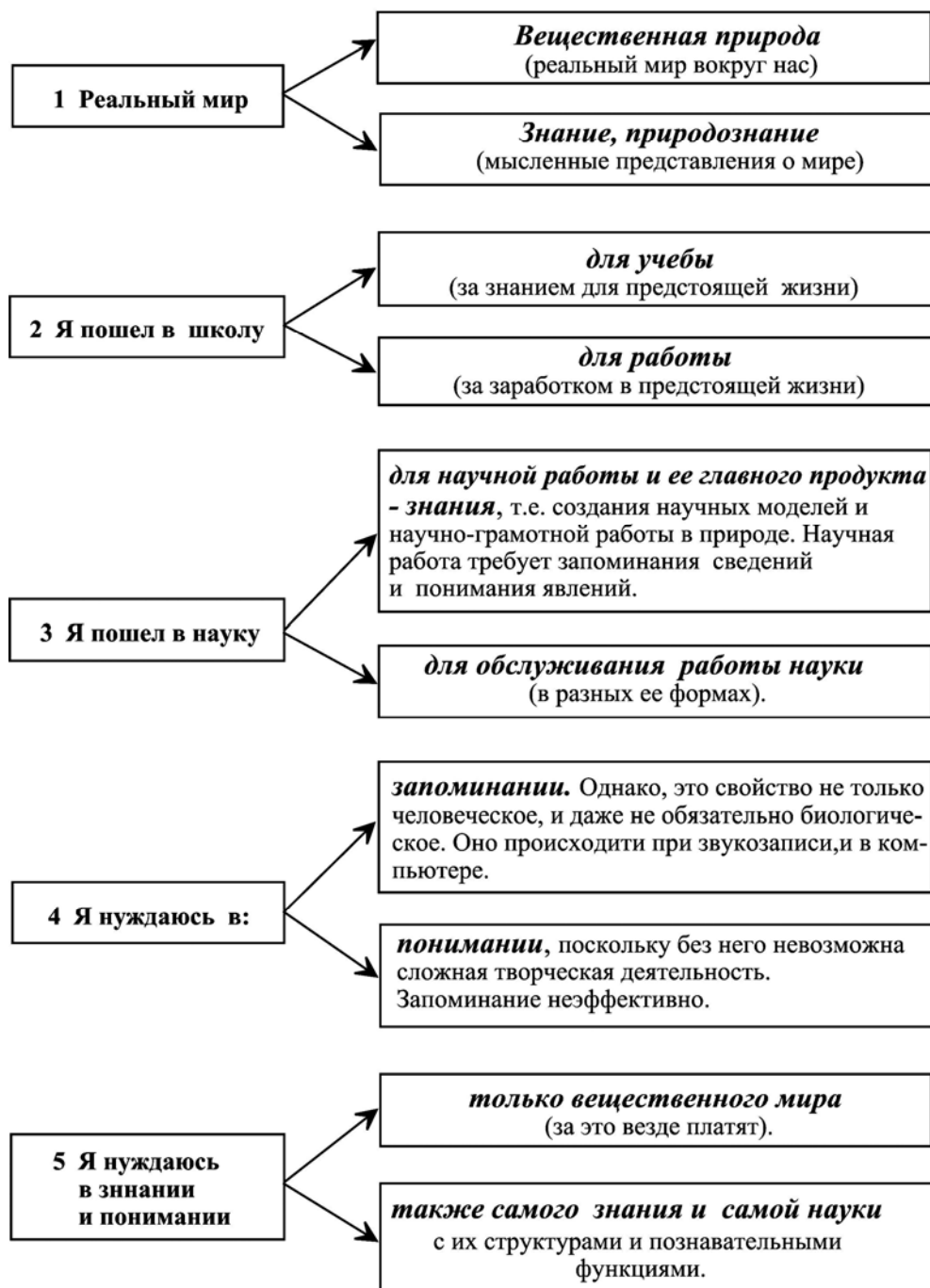
Введение в тему

Первая тема курса лекций составлена так, чтобы избежать хотя бы некоторых прежних просчетов в изложении природоведческих и экологических знаний.

Исторически неизбежный дефект научного знания и образования о земной природе вызван невозможностью зрительно охватить ее сразу во всех частях, структурах, функциях и соотношениях. Из широчайшего спектра объектов людское зрение выхватывает лишь малую его часть. **Однако, в университетском учебнике начала XXI века биосферу необходимо видеть сразу всю: все ее главные, известные в начале XXI века части в компактной сборке, на листе бумаги книжного формата.** В лекциях первой темы биосфера будет развернута в ряд по размеру (массе, геометрическому объему) всех ее основных объектов, от бактериальной клетки, но не до человека, как это принято в биологии, а до биосферы в целом. Главные объекты биосферы будут представлены также в другом формате – в метрическом поле нескольких базовых переменных.

Второй исторический дефект природоведческого знания и образования состоит в том, что они охватывают и освещают лишь вещественный мир, а *сама наука, ее собственная структура и познавательные функции* считаются темой сугубо гуманитарной. В учебниках по биологическим и географическим дисциплинам наука, как инструмент познания, не разъясняется. Однако, между вещественным миром и наукой о нем стоит человек с его мышлением. Знание в огромной мере зависит от его мыслительных свойств, от способности строить абстрактные образы и модели. Создавая научное отображение вещественного мира, исследователь непроизвольно искажает его пропорции, давая неверный образ природы. Лишь медленно, по мере расширения познавательных возможностей, научного инструментария, образ природы, ее научная модель корректируется, приближается к более полному виду. Краткие сведения о структуре и познавательных функциях науки и образования в *Школе* будут даны.

Целевые развилки в знании и образовании



С самого начала серьезного образования важно определить или уточнить свои приоритеты. Жизненных целей множество, но выделим две группы (схема). Это 1) изучение земной природы, познавательная деятельность, а в ней две разные возможности – знание и понимание; и 2) практическая деятельность в обитаемой

области Земли, т.е. в биосфере. Обе эти людские цели необходимы в одинаковой мере. Антропогенный кризис в его современной острой фазе во многом вызван тем, что природоведческие знания и умения пользовались в потребительском обществе гораздо меньшей поддержкой, чем прикладная деятельность. Природознание развивалось стесненно, а поэтому медленно. Его вытесняло обучение техническим, экономическим, юридическим наукам и разнообразным технологиям обслуживания общества. Последствия этого перекоса в знании не осознаны до сих пор и могут стоить жизни миллионов, если не миллиардов людей.

Еще одна общая беда системы образования (и одна из причин мирового антропогенного кризиса) состоит в том, что, в отличие от трудно пашущих на ниве знания уважаемых педагогов, чиновники международного “минобраза” (“минообразники”, или “минообразеры” – как бы повежливее?) заказывают своим людям и десятилетиями штампуют, в России и в Украине в том числе, одни и те же учебные истины, на стремительную жизнь и науку не глядя. Естественно поэтому, что время от времени, как из под земли, в мире появляются рукописи, которые в хранимое чиновниками прокрустово ложе никак не укладываются.

Лекция 1.1. Люди, среда обитания и наука.

Вводный очерк

1. Что происходит с климатом
2. От климата к Эко и Социо
3. Техника, технологии и биосфера
4. Что происходит с экологией и вокруг нее
5. Биосфера и человечество – с деньгами и прочим.
6. Чему учим и какое образование имеем?
7. На карте – благополучие и выживание Украины и России

Любой курс лекций должен преследовать значимую и ясно обозначенную цель. Главные цели человечества всегда были направлены к нему самому, и, как предполагается, к каждой отдельной личности в его составе. Еще одна всеобщая и быстро возрастающая людская забота – состояние среды обитания. Цель авторов *Школы биогеоэкологии* в главном все та же – забота об интересах человечества и сохранении его среды.

Понятно, что столь пафосное заявление может вызвать лишь кривую усмешку: экология не первый год на публике, а состояние человечества и среды исторически быстро, почти уже катастрофически ухудшается. Тысячелетиями люди жили в биосфере в целом безопасно. К участвовавшим прежним, а особенно к появившимся новым угрозам глобального масштаба человечество не готовилось и не готово. Масштаб и силу этих угроз большая часть населения Земли не осознает. Катастрофически не готова к ним и система природоведческого образования. Это не менее опасно, поскольку защита от природных угроз, увы, требует серьезного знания этой самой природы. Нынешнее образование, в Украине в том числе, такого знания не дает. Между тем, состояние всей обитаемой области Земли (в Украине тоже) на ближайшие полвека весьма неопределенно, но с тенденцией к ухудшению. Множественные осложнения в государственной, социальной, а соответственно и в индивидуальной жизни людей могут усилиться в самом недалеком будущем. Это сказано не о финансово-экономическом кризисе в конце 2008 г; о нем позже.

1. Что происходит с климатом

XXI век начался с климатических невзгод мирового масштаба. Последствия неуправляемых стихий ведут к возрастающим людским и экономическим уронам. Климатическими катаклизмами озабочены уже не только профессионалы природоведческих наук, но и правительства ведущих стран мира и ООН. Мировые СМИ сообщают все более тревожные сведения.

В мае 2007 года под названием “До роковой черты осталось совсем немного” была опубликована* статья украинского климатолога Сергея Степаненко. В статье, в частности, говорится: “За счет таяния вечной мерзлоты огромные территории Сибири и севера Канады превратятся в болота, непригодные для жизни человека. Изменившийся термический и водный режимы потребуют существенной перестройки структуры сельскохозяйственного производства, посевного материала, условий борьбы с вредителями, сбора и хранения сельскохозяйственной продукции и т.д. Климат

* Еженедельник “Зеркало недели” (Киев) . № 19 (1648) от 19 мая 2007 г.

тические изменения существенно повлияют на условия работы транспортной отрасли. Поэтому первоочередной задачей является разработка мероприятий по минимизации этих последствий. Такая работа по заказу правительств ведется во многих странах мира, но, к сожалению, наша страна выпадает из этого процесса”.

В ноябре 2007 г в российской печати была опубликована** статья биогеохимика Майкла Хаммершлага. Ее журнальное название не успокаивает: “Греемся, как на сковороде”. Статья написана по результатам российско-американских исследований на территории Сибири. Ранее того, климатологи пробурили 4х-клометровый слой льда в Антарктиде и в Гренландии, а биогеохимики, палеобиологии и другие специалисты изучили пробы льда, соответствующие восьми полным ледниковым периодам, в сумме за в 900 тыс. лет. В результате выяснилось, что глобальное потепление может оказаться в два раза сильнее или быстрее, чем еще недавно предполагалось. Вот несколько выдержек из статьи Хаммершлага. “Текущие уровни CO_2 на 36% выше, чем в преиндустриальный период и на 25% выше, чем это было на протяжении последнего миллиона лет. Беспрецедентный подъем уровня диоксида углерода начался с 1750 г. Средняя цифра последнего потепления весьма обманчива, так как эффект потепления резко возрастает в зависимости от широты”. Действительно, среднее потепление на 0.8°C за последние 100 лет может означать потепление в тропиках на 0.4°C . Потепление в Европе на $1 - 1,6^\circ$ и потепление в Арктике на $3 - 6^\circ$ (особенно в ночные часы) снижает скорость ледообразования. О странах южной Азии Хаммершлаг пишет: “Выбросы углекислого газа экономически развивающимися Китаем и Индией растут как взрывная волна. В Китае электростанции используют уголь – самое неудачное топливо. Каждая тонна сожженного угля дает 3 тонны двуокиси углерода. Метан дает парниковый эффект в 62 раза больший, чем углекислый газ. И наконец, худшее, что может быть – это фреон и галлоидоводород, искусственно созданные человеком и используемые в холодильных установках, а также в аэрозольных баллончиках. Они в тысячи раз сильнее двуокиси углерода и период их существования составляет несколько тысяч лет...”. Концентрация этих синтетических газов в атмосфере пока очень мала и в расчетах скорости потепления до сих пор не учитывалась.

Однако события развиваются быстро. Особенно опасна эмиссия метана, который может оказаться бомбой замедленного действия. В статье сообщается: “Порядка 900 млрд тонн углерода существует в виде органического материала на торфяных болотах и в вечной мерзлоте Сибири, Гренландии, Канады и Аляски. Самое неприятное для мира потепление происходит в Арктике, на $3 - 6^\circ$ ночью. Это способствует таянию древней (115 тыс. лет!) мерзлоты в тундре на территории, равной Франции и Германии вместе взятых. Эта территория превращается в смесь из грязи и озер, вызывая активное разложение органического вещества и превращение его в метан”.

Публикации такого рода множатся. Не пора ли, и так уже запоздав, выходить в студенческие аудитории с этой острой, климато-экологической ситуацией, как кинжал уходящей в социум? Это как раз тот слой молодого, мыслящего, вступающего в жизнь и деятельного населения, к которому, на наш взгляд, следует обращаться в первую очередь. Если события примут остро угрожающий характер, то именно через этот сознательный и массовый слой можно будет смягчать по мере надобности потенциально очень опасную шоковую реакцию в социуме, который, повторим это, к развитию кризиса совершенно не готов.

** Газета “Новая газета” (Москва), № 86 (1306), 12.11 – 14.11.2007, вкладка “Кентавр” № 7 .с.3.

Кризис 2008 года затмил климатические и экологические заботы, до этого бывшие на виду. Но если изменения климата вызваны физическими и космическими причинами, как нас в этом уверяют климатологи и метеорологи, то очевидно: мощность космоса и Земли такова, что противостоять им и изменить грозящий климатический тренд люди не в состоянии. А это значит, что к экологии и проблемам среды обитания все равно предстоит вернуться. Причем не по довольно еще скромному списку проблем начала века, а по гораздо более обширному и сложному перечню, вытекающему из климатических изменений и наступившей социально-экономической нестабильности. Есть все основания предполагать, что долгое забвение экологии обойдется очень дорого, если вообще будет, кому расплачиваться.

Неизбежное обострение комплекса навалившихся проблем в среде и социуме будет проявляться все более системно, поскольку главные источники кризиса не в космосе, а в собственной биосфере. Не забудем что поток антропогенного CO_2 – результат сжигания созданных биосферой нефти и газа. Метан, тоже биосферного происхождения, а глобальный круговорот воды существенно связан с растительностью на континентах и ее биологическим составом. Изменение соотношений между травянистыми и древесными растениями, между агрокультурой и природной флорой скажется на количестве осадков и их пространственном распределении. Что тогда принять, или как этого избежать? Спросите у экологов.

Одно из уже проявившихся социальных следствий системного кризиса – повышение мировых цен на продовольствие. Поскольку исчерпание ископаемых топлив неизбежно, эксперты предсказывают сдерживание и сокращение растущей промышленности мировых лидеров – США, Китая, Индии и не только их. Эксперты предсказывают, что это вызовет переток рабочей силы в продовольственный блок социума – сельское хозяйство. Расширение и изменение структуры растениеводства, а за ним животноводства еще больше ухудшит среду обитания. Почему и как ухудшит? Обратитесь к экологам. Как же ухудшение среды сбалансировать? Спрашивайте у экологов, хотя и не только у них.

Рекомендации разных наук будут сталкиваться; хаос мнений неизбежен, поскольку к происходящему и его масштабам человечество не готовилось. Украина – одна из бывших мировых житниц, производителей и продавцов продовольствия. Парадоксально, но власти и наука в Украине к ближайшему будущему не готовятся и сегодня. Оптимально использовать потенциал плодородия суши и вод без глобальной экологии будет невозможно. Невозможно потому, что экология XX века, преподаваемая до сих пор, изучала в основном объекты сугубо локальные. В лучшем случае региональные. Для анализа, а тем более для решения экологических проблем глобального масштаба необходима экология, которой в настоящее время нет.

Клубок кризисных проблем явно выходит за пределы биологии и экологии, охватывая науки о Земле и социуме. Природоведческая, биосферная составляющая этого сложнейшего клубка очевидна. Более того, она является в нем самой важной частью по одной бесспорной причине: природным стабилизатором, а поэтому и единственным надежным гарантом безопасной жизни людей на Земле является ее природная биосфера.

Кого же, как не сидящих в студенческих аудиториях молодых людей следует **самым серьезным образом и срочно знакомить с основами современного природоведения, экологии, биосферологии?** Учебников же по региональной экологии в Украине и России мало. По глобальной экологии учебников еще меньше, а по биосферологии нет совсем. Подготовка же по климатологии и метеорологии далеко не охватывает всего комплекса природоведческих тем.

3. Техника, технологии и биосфера

Основатель учения о биосфере – Владимир Иванович Вернадский был к тому же и организатором науки в России и в Украине, первым президентом Академии наук Украины. В современной НАНУ его наследие утрачено, хотя не только по ее вине. В массовом государственном образовании биосфера представлена убого и искажено, по вине общемировой. Это и понятно. В XX веке мировая наука развивалась главным образом в инженерно-техническом, а затем в широчайшем по размаху и разнообразию форм технологическом русле. В массовом сознании это укрепило представление о Человеке Разумном, могущем сотворить все, что угодно на Земле и в космосе, вплоть до скорого заселения других небесных тел с созданием на них искусственных биосфер. Между тем, разум людей направлен на что угодно, но не на биосферу. Наука уже пыталась создать на Земле небольшие экспериментальные биосферы. Однако выяснилось, что эта задача настолько сложна, что рассчитывать на ее скорое практическое решение не приходится. Хотя на недостаток финансирования искусственных биосфер исследователи всегда ссылаются, основным тормозом является крайне слабое знание собственной, земной биосферы – ее структур, функций, эволюции, и самое главное – знания и понимания механизмов ее динамической стабилизации в режиме непрерывно работающего автомата. Этот автомат формировался и отрабатывался на протяжении четырех миллиардов лет. Изучен и понят он весьма слабо, фрагментарно. Несомненно, это одна из многих причин кризиса между людьми и остальной биосферой.

Активной, ведущей частью биосферного автомата, работающего и на климат, является жизнь в обитаемой области Земли. Автомат биосферы основан на взаимодействии между, с одной стороны, земной корой, газовой и водной фазами, а с другой стороны, с живом населением Земли (всей ее “биотой”, иными словами, с “живым веществом”). Однако подгоняемые рынком успехи техники и технологий отгеснили природоведческие науки на третий и четвертый планы.

В развитии группы биологических наук и в их учебно-образовательной сфере всегда были отрасли активные и относительно пассивные. Убедительные примеры быстро развивавшихся и технологичных наук биологической группы – биохимия, микробиология, молекулярная биология и молекулярная генетика с их био-нано-технологиями. Общему научно-техническому и технологическому прогрессу эти успехи были созвучны, вследствие чего получали поддержку общества и подробно вошли в систему образования. Но рядом с ними в системе образования оставались отрасли знания мало наукоемкие, без ярких технологических выходов в современный социум. Общеизвестные примеры – ботаника, зоология и ближайшие к ним науки, сделавшие свой основной и важный социальный вклад преимущественно в XIX и XX веках (медицинское и общее растениеводство, классическая селекция новых сортов растений и пород животных, классика лечебной медицины). Примечательно, что в конце XX века группа успешных точных наук также устремилась к малым, молекулярного масштаба объектам, выстраивая область физико-химических и физико-технических нанотехнологий, питающих, самые современные разделы вычислительной техники и автоматики. Общество, основанное на рыночных принципах, бросилось поддерживать научно-технологическое развитие в этом направлении. Биосфера же, частью которой являются Россия и Украина, остается на задворках. **А на дворе кризис в отношениях между биосферой, мощной своими природными силами, и человечеством, техническая и технологическая мощь которого несоизмеримо меньше природной.** Проблемы с климатом и финансовыми «пузырями» на этот кризис только наложились и его усилили.

Стоит ли, допустимо ли обсуждать все это в студенческих аудиториях? Если есть сомнения, их необходимо проверять, прежде всего, в ведущих университетах с их студентами. После долгого отставания в области региональной и глобальной экологии и биосферологии новые природоведческие знания необходимо срочно вливать в образование.

4. Что происходит с экологией и вокруг нее

Признаем, что экология находится на своем очередном переломе, адаптируется к реалиям XXI века и болеет, отчасти потому, что забалтывается профанами и политизированными “зелеными”. Экологи в шоке: в начале XXI века они встречаются с реальностью, которой не было совсем недавно, в середине XX века. Более того – налицо уже начавшиеся на Земле новые, быстroteкущие процессы с массовым людским участием и процессами в социуме, а они почти не предсказуемы. Еще одна беда экологии – ее быстрый раскол на специализированные части, решающие все более и более узкие задачи. Разных экологий уже свыше двадцати, вплоть до самых экзотических (экология производства ботинок, адаптированных к земле). Склепать из них общую экологию XXI века невозможно и в этом слабая сторона дела. Но есть и сторона обнадеживающая, конструктивная: из разряда наук описательных, качественных, какой общая экология была в составе биологии, она (но отнюдь не ее осколки) переходит в разряд наук с численными методами, серьезными научными расчетами, моделями и общенаучной методологией. Этот процесс начался с середины XX века и теперь заметно ускорился. Временный шок у экологов проходит, но недоверие к ней в обществе остается.

Экологическая реальность конца XX и начала XXI века нова для самих экологов еще по одной причине. Родившись в составе биологии как одно из ее боковых ответвлений, экология к середине XX открыла для себя новый, собственный тип объектов – экосистемы. Их резкое отличие от организмов состоит в том, что совокупная масса организмов (“живого вещества”) не превышает в большинстве экосистем долей процента, а все остальное – косное вещество. Поэтому экосистемы, как и вся биосфера, относятся к компетенции не биологии, а наук о Земле (хотя участие биологов в изучении экосистем и биосферы остается принципиально важным). Естественно, что это отдалило экологию от биологии и сблизило с науками о Земле. Последние, в свою очередь, сделали важные шаги в сторону экологии, создав в своей научной среде почвоведение, лимнологию, океанологию, геоэкологию, ландшафтоведение и ряд других направлений на границе с биологией и экологией. При этом науки о Земле не только не расстались с организмами, но расширили свой интерес к ним, особенно к существам мыслящим и творящим – к людям и человечеству.

Вследствие весьма интенсивного био-гео-эко-системного творчества, в основном во второй половине XX века, появилось несколько перекрывающих друг друга и отчасти конкурирующих между собой концептов земной обитаемой реальности, в частности, земных оболочек – “сфер”, упоминаемых апологетами соответствующих наук.

Бросим сравнительный взгляд на научное окружение экологии. Это наиболее известные природоведческие науки, их объекты (выделены петитом) и земные “сферы” (выделены жирным шрифтом):

География – *геосистемы* – **геосфера (включая социосферу).**

Геология – *разнообразны* – литосфера.

Почвоведение – *почвы* – педосфера.

Биогеохимия – *биокосные системы* – биосфера (целиком включая социосферу).

Океанология – *океаны, моря, проливы, заливы* – океаносфера.

Лимнология – *озера, лиманы, пруды, водохранилища* – лимносфера.

Экология – *экосистемы* – экосфера (включая людей, но не социум в целом).

Ландшафтоведение – *ландшафты* – ландшафтосфера (включая людей).

Геоэкология – *объекты неопределенны* – геоэкосфера, экосфера.

Климатология, метеорология – *физические аспекты климата и их прогноз* – гидросфера атмосфера, геосфера.

Биогеоэкология в этом списке отсутствует, поскольку она представляет собой промежуточное состояние между экологией в ее классическом облике и биосферологией, основы которой задал В.И. Вернадский в биогеохимии. Однако, адекватная современная наука с соответствующим учебно-образовательным расширением так и не была создана. Почему? Ответ понятен, но не сводится к одному.

Отчасти ответ вытекает из приведенного списка. Обратим внимание прежде всего на очень разный исторический возраст, а соответственно, разные познавательные возможности перечисленных наук и учебных предметов. Если их механически соединить, биосферологии не получится, а синтезировать их сложно – у них разная концептология. Из перечисленных в списке геоэкология – самая молодая и концептуально наименее зрелая. Экология гораздо взрослее, но во всем мире она развивалась сложно. По целому ряду причин она периодически теряла государственную и даже общественную поддержку, профанировалась и дробилась на узкие прикладные направления. Судьба биогеохимии тоже была и остается сложной, она глобально раздвоилась. Ее исконная, русскоязычная ветвь, была инициирована В.И. Вернадским в России и в Украине. На территории бывшего СССР она долго не могла развиваться по идеологическим причинам. Она начала возрождаться в России с конца 70-х годов XX века, тогда как в Украине конца XX и начала XXI века едва тлела. В остальном мире возобладала, условно говоря, англоязычная версия биогеохимии, идеологии Вернадского не воспринявшая. Она следует общенаучной идеологии открытых систем и потоков вещества. Англоязычная ветвь биогеохимии и биокосмохимии опирается на современную, технически оснащенную химико-аналитическую базу и по массиву полученных современных данных, значительно опередила русскоязычную ветвь, не имея однако, концептуальной основы для биосферных обобщений. Напротив, главные направления русскоязычной биогеохимии – почвенно-агрономическое, океанологическое и лимнологическое, оказались гораздо более подготовленными в концептуальном отношении, что очень важно в условиях современного глобального кризиса в обитаемой области Земли. Вернадский первым приравнял человечество к остальной природной биоте, объединив в понятии *живое вещество* “диких” и “культурных” обитателей Земли. Тем самым, он **уравнивал их во всех базовых биосферных правах** (этот тезис будет концептуально обосновываться и фактологически иллюстрироваться на протяжении всех последующих лекций *Школы*). В обосновании и объяснении биосферных функций человечества Вернадский не ошибся.

5. Биосфера и человечество – с деньгами и прочим

Нам привычны словосочетания более вежливые. Если говорить вежливо, то человечество – оно с мозгами, а тут вдруг – с деньгами. Самоуважение людей основывается на научном факте – высоком уровне развития мозга и способности мыслить. Но давно уже очевидно, что **системообразующим признаками людского социума стало не мышление и накопление знаний, а деньги, их накопление, движение, самые невероятные трансформации, обмен бумажек на все, что душе угодно (включая и душу)**. Экология XX века изучала движение энергии (считай голых *калорий*) по пищевым цепочкам сообществ с лесными незабудками, комарами, лягушками, рыбами и прочим, а в людском обществе главными стали копейки и рубли, центы, доллары фунты и все прочее, вплоть до виртуальных бумажек в “финансовых пузырях”. Если авторам скажут, что это не экология, мы ответим: это экология начала XXI века, она вот такая. Деньги породили историческую череду злоупотреблений, обманов, смертей. Разнообразие денежных махинаций растет с каждым годом. Кризисы в социуме это наглядно подтверждают. Скажем откровеннее: развитие социума в несвойственном природе направлении – главный источник современного глобального кризиса человечества. Кризиса экологического в первую очередь, а затем и во всем остальном. Не даром же его именуют “системным” и “глобальным”.

И все же: не получается ли так, что с первой же лекции авторы школы, посвященной экологии, сворачивают от нее в сторону – к вопросу о природе человека и человечества с его проблемами, а не к устройству земной природы? Ответом является вся эта книга. Исходное утверждение авторов состоит в том, что **экология XXI века станет одной из главных наук о выживании человечества на Земле, наукой о его мирном, бескризисном, устойчивом существовании**. Оно будет вынуждено вернуться к идеям В.И. Вернадского, но с новыми фактами и на уровне современных знаний. Для этого и *Школа*.

Вернадский думал, что насытившись мировыми войнами, люди направят свою мысль в мирном направлении, откроет людям законы природы, следуя которым и создадут сферу разума – ноосферу. От мирного пути развития социум отвернулся. В распухшей после второй мировой войны империи СССР научные идеи Вернадского попали под долгий запрет. Не были они поняты и биологами. До Вернадского все живые существа, включая и человека, как особь и как биологический вид, а также сообщества “диких” организмов, изучались в биологии, тогда как человечество с общественными настройками, т.е. со всей его “социальной культурой”, было причислено к общественным и гуманитарным наукам. Одна из принципиальных новаций Вернадского состояла в том, что “диких” и “культурных существ” он объединил в одно общее понятие – “живое вещество”. Этот термин до сих пор вызывает критику с самых разных позиций. И в самом деле, при *различии* оценочных критериев для “диких” и “культурных” никакого их единства не получается. Их (и не только их) базовое сходство выявляется лишь *при их бигеохимическом рассмотрении, т.е. как объектов биокосных*. В этом качестве все прочие их различия (от бактериальной клетки до биосферы) становятся второстепенными.

Обратимся и к людскому социуму. К концу XX века численный рост человечества и структурно-функциональное усложнение общественного механизма, развитие науки, техники, технологий, людских и товарных миграции, рынка, денежной сферы приобрело глобальный характер. Глобализация происходит сложно и противоречиво. Ею необходимо бы разумно управлять, поскольку управленческие ошибки на мировом обществе фатальны в глобальном же масштабе. Но получилось наоборот: глобального управления не было, и нет сегодня. Историческое формирование и мно-

гократная перекройка и передел всего доступного людям живого и косного в обитаемой области Земли проходили в основном стихийно, несистемно, фрагментарно (“коммунизм в одной отдельно взятой стране”). Биологи занимались выведением и внедрением на поля новых сортов растений и пород животных для пищевых, лекарственных и других целей. “Геотехнари” ведали преобразованием Земли – планировали, создавали и заполняли водой искусственные озера и моря, перегораживали и поворачивали реки для целей электрификации, орошения или водоснабжения крупных промышленных производств. Экономисты, финансисты и далеко не самые умные политики, кивая на умных философов, решали рыночным путем судьбы человечества, а думские депутаты скользили по всему миру, фотографируясь на память на пока еще ледяных полюсах Земли. Да еще и друзей-товарищей их разных “органов” с собой брали, как один российский двухполярный депутат. Все ипостаси людского знания и бытия прямо, и не в лучшую сторону влияют на нашу общую среду обитания, якобы, “внешнюю”, которая до Луны. Она наверняка бездонная. Все зловонные отходы туда свалим, а поэтому жить нам и не тужить.

В биосфере Гео и Био сорегулируются автоматически. Напротив, в режиме ручного управления Гео и Био (включая Социо) чаще всего манипулировались отдельно одно от другого, как куры, собаки и злаки в руках селекционеров из разных научно-производственных ведомств, под эгидой разных “верхов”. Не свойственный природе рыночный механизм, основанный на денежной стоимости продуктов труда, направлял как манипуляции с природой, так и процессы в обществе.

Новация конца XX и начала XXI века – строительство рукотворных объектов, в которых Гео, Био и Социо изначально выступают технологически неразрывно, как части единого рукотворного Эко. Яркий пример таких объектов – курортные города, создаваемые в море на базе небольших искусственных островов. Эти города на воде возводятся государством Дубай в Персидском заливе при участии финансов и быстро исполняющих их волю фирм всего мира.

Фактически, создаются узко специализированные водно-наземные экосистемы курортного типа со стократно расширенной береговой линией, сложенной, как гармошка в гармошке (фрактал). Известно, что граница вода-берег это одна из лучших для отдыха геоморфологических структур Земли. Планируется, что к 2016 году города-острова будут полностью заселены. Объектом управления в них являются системно связанные между собой Гео и Био-Социо. Их Гео – косное вещество Земли (морской песок, природные камни и морская вода, служащая жидкой оболочкой искусственных островов). Их Био-Социо – богатейшие люди с их услугой, для которых на островах предусмотрено роскошное жилье, бесперебойное и обильное снабжение всеми необходимыми для жизни пищевыми продуктами и прочими благами. Рекреационных проектов географического масштаба Дубай реализует в своих границах сразу несколько, разного типа с населением до 500 тыс. человек в каждом отдельном случае. Аналогичные “изоляты” локального масштаба – элитарные поселки (разумеется, в лучших природных ландшафтах) пятнами расползаются вокруг крупных городов России. Не медлят деньги и в Украине. Только вот мысль часто запаздывает.

6. Чему учим и какое образование имеем?

Воочию наблюдая многочисленные признаки неблагополучия в “окружающей среде”, разнообразие и частоту климатических аномалий и других природных неурядиц, рядовые люди задаются вопросами, ответов на которые природоведческое образование не только не дает, но не формулирует и самих вопросов. На экранах ТВ

люди видят то дождь и реки по улицам, то засухи и пожары в лесах. Так это что – потепление мира, или его похолодание? Почему такая чехарда? А теперь такая же и в финансах с экономикой. Что дальше будет?

В учебниках географии все стабильно. На улице тоже: горы, озера, города те же. И в учебниках по биологии все стабильно. Но на улице не так, как вчера и снова не так. Вопросов по жизни множество. Какие же вопросы в учебниках? Какова степень их важности? Авторы учебника по “Общей биологии” для 10 – 11 классов для государственной средней школы в Украине (Кучеренко и др., 2001) каждый учебный раздел заботливо сопровождают стандартными рубриками: “Выводы”, “Контрольные вопросы” и строкой-призывом: “Подумайте! Почему.....?”. Каждый следующий раздел начинается со столь же заботливого вопроса: “Вспомните! Что такое.....?” (с. 251 и др.). Учителей-практиков хочется спросить: помогает ли это? Ученики интересуются? А если нет, то, какие вопросы следует задавать и на контроль ставить?

Вопросы для школьников работники системы образования отмеривают по своему разуму, а не по земному миру. В современном мире вопросы к вступающим на порог университетов должны быть совсем другие. Как устроена природа на уровне знаний XXI века? Чем человечество навредило природе кроме разбросанных консервных банок? В чем состоят главные риски в природе Украины и России? Чем вызвано облысение центральных областей России, или жалкое состояние рыбных запасов Азовского и Черного морей? При окончании университетов ранг вопросов должен быть повышен еще на порядок. Какие структуры в Украине или в России в состоянии провести необходимый анализ ситуации и смогут (а) рекомендовать и (б) реально подготовить антикризисные меры и (в) убедительно оценить их возможную эффективность? Вопросов к людям, выходящим из детства в очень проблемное общество, не перечесать, а ответов не видно. Средняя школа массово прививает детям убогую мысль, будто выносить из леса свои и чужие консервные банки – едва ли не главный совет экологии. И обманутые министерскими чиновниками дети их нехотя собирают.

7. На карте – благополучие и выживание Украины и России

Авторы этой книги – русские и украинцы, совместно работающие уже долгие годы. Работающие что называется “в поле”, но от лабораторий и университетов не отрываясь. В любые времена судьба наших народов была и остается в главном общей. В любые времена люди справедливо требовали от науки и образования практической пользы. Какая именно пользу нужна – зависит от времени, от исторических условий. Условия XXI века будут нелегкими. “Факторы среды” ошестивятся еще больше. Как среди таких жить? Вопросов уже много, а будет еще больше. Сложные вопросы мы не умеем или избегаем задавать. Поэтому ответы и советы учебников часто примитивны. Но хуже всего то, что, большая часть ответов и советов скользит мимо главной цели XXI века – длительного сохранения устойчивой жизни.

Поясним простыми словами свое понимание ситуации между наукой и обра-

*Вот примеры вопросов из регулярно переиздаваемого государственного учебника для общеобразовательной средней школы Украины (Кучеренко и др., 2001). “Чем отличаются между собой одноклеточные, многоклеточные и колониальные организмы? Что изучает цитология?” – стр.41; Что такое суточные ритмы? Что такое фотопериодизм – стр. 281. *Учебная важность* вопросов видна наглядно. Часто они составлены так, что откровенно подсказывают ответ. Учитель, что вопросы с наивной подсказкой ответов адресованы школьной молодежи на пороге университетов. Кого готовим?

зованием в России и в Украине. Сложности, возникшие после распада СССР, привели к известным кризисным явлениям в политикуме и в руководстве научно-образовательной сферы. Стареющая административно-управленческая верхушка науки наших стран держится за свой сектор власти. По-другому, но не лучше дело обстоит в системе природоведческого образования. Ее застарелый консерватизм обычно объясняют тем, что задачей учебы является передача в общество “основ знания” с убеждением, что “основы” – это классика прошлых веков. Однако с развитием науки основы знания к фронту науки стоят вплотную. Так и стоят они там, а чиновники “минобразов” этого не замечают.

Лучший индикатор ситуации в обществе – само общество. Когда нефть в стране хлещет из недр, карманы полны денег. Работать руками не обязательно и математика нектати (некий российский министр так открыто и заявляет). Мозги набирают знанием, за которое больше платят – финансами и “менеджментом”. По тем же предметам и “университеты”. Ширина лба у этих организаций, а сказать прямо – **училок**, не более одного сантиметра и глаза у них узко поставлены, как у дебилов. И видят выпускники училок не далее одного года. А тут вдруг кризис.... Вот и все, если простыми словами.

Узколюбое понимание “основ науки” приводит к тому, что людское знание и понимание от *основ природы* отрывается все больше и дальше. Крайне низкая наукоемкость макроскопического земного природоведения для профессионалов очевидна.

В передовых странах мира наука сосредоточена при университетах. Это позволяет соединять три важнейшие социальные цели – сеять фундаментально-прикладные знания, формировать научные кадры и одновременно пополнять и обновлять основы знания. В странах, входивших в состав СССР, наука в основном была от университетов отделена и сосредоточена в специализированных исследовательских учреждениях разного типа. Этот организационный принцип сохраняется до сих пор, сдерживая развитие и науки, и образования.

Ожидать от властных структур необходимых реформаторских действий на границе науки и образования сейчас бесполезно. Это видно с большой наглядностью по ситуации в России и в Украине совпадающей в деталях. Текущее положение зависит сегодня прежде всего от кадров на этой границе. В сфере образования по существу не представлена наиболее актуальная часть общего природоведения, посвященная обитаемой области Земли, как системному объекту. В своем современном, базовом виде экология редко преподается даже в государственных университетах. Западное природоведение едва ли лучше. Критики западной системы образования указывают на ее общий и опасный своими последствиями недостаток – фрагментарность, “отсутствие интегральности” (The lack of Integrity). Интегрированных природоведческих знаний уровня начала XXI века в России мало, а в Украине почти нет. Есть лишь расширяющийся от года к году спектр учебных предметов средней и высшей школы с весьма слабыми межпредметными связями. Между тем, кризисное состояние биосферы и территорий двух наших богатых природой стран требует радикальной переработки образовательных программ и природоведческих учебников на всех уровнях обучения. Убеждать “простыми словами” бесполезно. Предстоит снова учиться, и к неизбежной наукоемкости привыкать.

Лекция 1.2. Земные природные объекты и их разнообразие

1. Размеры природы и познавательные возможности разных наук
2. Разнообразие и значимость природных объектов и явлений
3. В какой из наук и учебных предметов полное разнообразие земной природы может быть отражено?
4. Метрическое отображение главных объектов биосферы и объективное положение человека в природе

1. Размеры природы и познавательные возможности разных наук

“Природа” – понятие весьма общее. Его смысл широк и размыт, хотя интуитивно осознается: это Вселенная. Более узкое понятие – “земная природа”, т.е. планетарное тело Земли с атмосферой и гидросферой. В составе земной природы особенно важна *обитаемая область* Земли с живым веществом на её поверхности, а также подверженный воздействию жизни нижний слой атмосферы, примерено до 20 км от поверхности Земли.

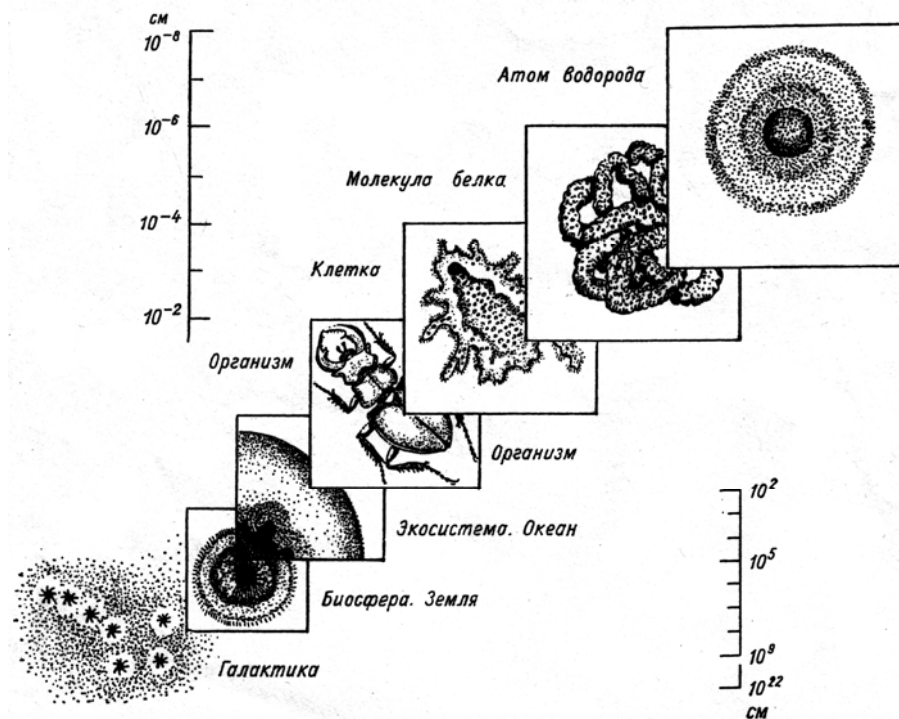


Рис. 1.1. Иерархия уровней, на которых исследуется биомасса. На каждом из них огромную роль играют периферические структуры (Айзатуллин, Лебедев, Хайлов, 1979).

Входя в предметную область природоведения и экологии (общей, или же её основных подразделений) уместно, прежде всего, обсудить круг изучаемых объектов и их размеры на фоне всего вещественного ряда в окружающем нас мире. На рис.1.1 показаны основные типы объектов на шкале (в логарифмическом масштабе) линейных размеров. Диапазон характерных длин вещественных тел охватывает примерно 30 порядков величин, начиная с атома водорода (10^{-8} см) и до нашей галактики (10^{22} см). По геометрическому объёму объектов это ряд в 90 порядков величин: от 10^{-24} до 10^{66} см³.

Как видим, мир природных тел колоссален. Поэтому он поделен между науками, которые специализировались на изучении отдельных его участков. Познавательные возможности каждой науки определяются перечнем объектов и шириной их изучаемого диапазона. Масса тела считается наиболее важной физической, экологической и биологической характеристикой вещественных объектов. Поэтому сравним по массе диапазоны тел, изучаемых разными науками.

Географии принадлежит ряд, охватывающий 17 порядков (от небольшого озера, 10^{10} г воды, до географической оболочки Земли, примерно $6 \cdot 10^{27}$ г). Химия изучает объекты в диапазоне 12 порядков (от атома водорода, 10^{-22} г, до молекулы ДНК, 10^{-10} г). Находящиеся между Гео и Хим объекты биологии образуют ряд в 16 порядков величин (от ДНК, 10^{-10} , до китов и слонов, $2 \cdot 10^6$ г). Экология же распространила свои интересы на 40 порядков, от микроскопических бактериальных колоний с массой 10^{-13} г, до Мирового океана и Земли с массой $6 \cdot 10^{27}$ г). Основные объекты ландшафтоведения примерно соответствует экосистемам географического масштаба.

Судя по протяжённости ряда изучаемых объектов, познавательные возможности экологии на 23 – 24 порядка шире, чем у биологии и географии. Наиболее фундаментальными науками являются физика и математика. Познавательный ряд физики совпадает с полным размерным рядом Вселенной, границы которой не вполне ясны. Существуют, конечно, и другие критерии оценки познавательного диапазона разных наук.

2. Разнообразие и значимость природных объектов и явлений

Сразу же заметим, что разного рода “разнообразий” на Земле великое множество. Любые вещественные тела различны, прежде всего, по их положению в земном пространстве – месте. Различие тел по массе это еще одна всеобщая форма разнообразия. А дальше можно перечислять без конца: разнообразие форм растений, пород животных, собак, кошек, разнообразие химических атомов, молекул, озер, экосистем и т.д. По поводу любого разнообразия можно задать множество вопросов и какие-то из них наверняка окажутся важными. Но значит ли это, что разнообразие должно быть одной из главных научных проблем в каждой отрасли знания? Ответ не так очевиден, как кажется тем, кто разнообразие видов организмов ставит в биологии превыше всего прочего.

Разнообразие земных объектов по индивидуальной массе лежит в диапазоне примерно 47 порядков, от атома водорода до физического тела Земли. Если считать, что биологические тела начинаются не с молекул ДНК, а с одноклеточных организмов, например, с бактерий, то совмещённый размерный ряд биологии и экологии занимает примерно 38 порядков по индивидуальной массе, или геометрическому объёму (рис. 1.2). Из них на многоклеточные организмы приходится 20 порядков величин и 18 порядков составляют жизнеобитаемые (жизнеподдерживающие) системные объ-

екты, в которых масса косного вещества на много порядков превышает совокупную массу организмов. К жизнеобитаемым относятся и ландшафты – эмоционально наиболее воспринимаемые людьми части окружающего пейзажа.

Понятно, что в научной и учебной экологии, описывающей живое и косное (Био и Гео) в их единстве, важен весь ряд земных объектов, все их разнообразие, включая живые и жизнеобитаемые. Как следует из рис. 1.2 по диапазону индивидуальной массы и объема, живые и жизнеобитаемые системы представлены логарифмически почти одинаковыми рядами. Сразу же возникают нетривиальные вопросы: одинаково ли разные участки ряда (разнообразия) важны? Одинаково ли они изучены? Изучение каких участков ряда разнообразных тел или явлений важно для фундаментальной науки, а какие важны в хозяйственной практике?

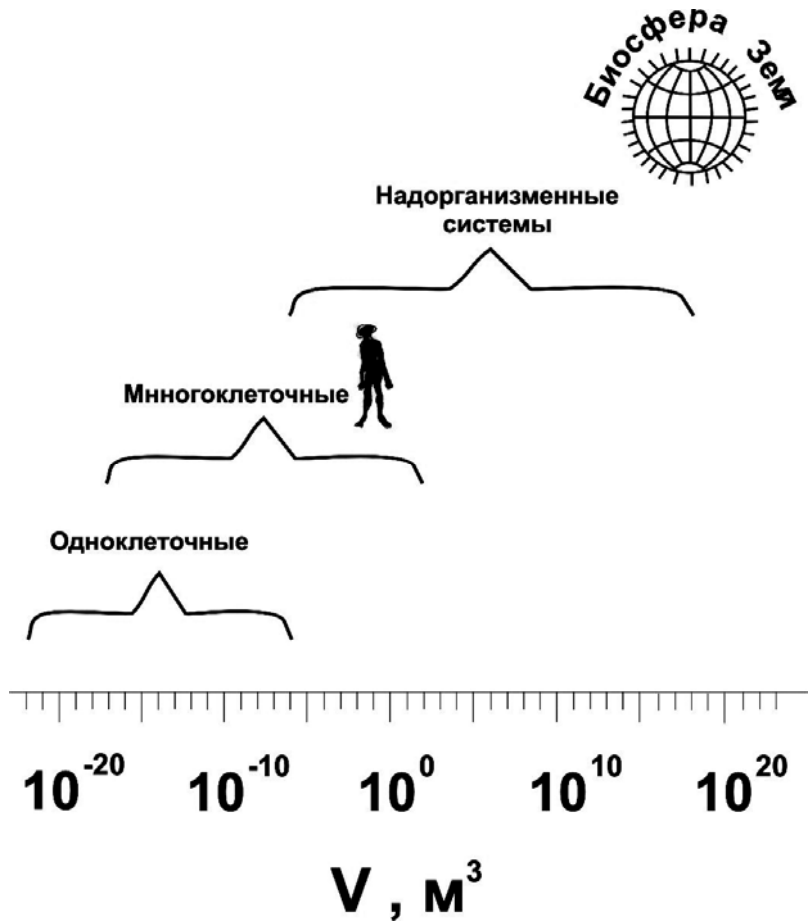


Рис. 1.2. Размерный ряд живых организмов надорганизменных жизнеобитаемых систем в составе земной биосферы.

Видовое разнообразие организмов изучается уже несколько столетий, но работа не завершена и никакой уверенности в её близком завершении нет. Порядок в этой системе до конца не доведен, разнообразие не охвачено. Специалисты полагают, что наука еще не открыла и не описала около 10 млн. видов многоклеточных живых существ. Сколько еще столетий, в дополнение к уже затраченному потребуются, чтобы

изучить одну только эту форму разнообразия? Характерно, что в последнее 10 – 15 лет биология вторично возвела эту давно уже научно решённую в дарвинизме и генетике проблему в ранг важнейшей. Чем объясняется реанимация вопроса и придается ли разнообразию объектов такое же большое концептуальное значение в других науках? Как относятся к разнообразию объектов в небιологических науках?

Физика имеет дело с широчайшим волновым спектром. Люди в состоянии видеть лишь малый участок разнообразия волновых частот. Все остальные участки обнаруживались по мере накопления научного опыта и совершенствования оптических и других приборов. Разные участки волнового спектра изучают специализированные науки. В общей картине физического мира и в человеческой практике все они важны одинаково. Аналогичным образом, постепенно и по частям происходило освоение размерного ряда живых и жизнеобитаемых объектов биосферы.

Размерный состав и разнообразие форм в мире организмов напоминает состав волнового спектра с разнообразием частот в нем (поэтому, кстати, размерные ряды организмов современные биологи и экологи нередко называют “размерными спектрами”). Для науки о жизни на Земле одинаково важно знание всех участков “размерного спектра” природных и рукотворных объектов. Следует ли отсюда, что проблема разнообразия должна быть в центре внимания наук, изучающих разные участки своих природных рядов?

Ответ давно известен. Кроме биологии, ни одна из наук, изучающих природные явления не усмотрела в факте их разнообразия особой научной глубины, не создала отдельных для каждого ряда теорий разнообразия. Общий же анализ рядов – дело математики. При широчайшем разнообразии космических тел, концептуальной важности, научной проблемы астрономия в нем не усматривает, довольствуясь аппаратом математики. Заметим, однако: химики и экологи в один голос заявляют об опасном для людей увеличении разнообразия химических веществ, особенно токсических, в результате человеческой деятельности. Следовательно, биологи придают разнообразию организмов исключительную важность потому, что оно снижается, а химики потому, что разнообразие химических веществ повышается.

Так что же является проблемой – разнообразие как универсальное свойство природы, или *изменение разнообразия*, каким бы они ни было? Понятно, что и в биологии, и в химии **опасно изменение присущей природе величины разнообразия**. Сам процесс изменения, как в живом мире, так и в химическом, происходит по вине человека. Так это проблема науки, или человека? Понятно, что человека, его образа жизни на Земле. В отличие от биологов, химики, физики, астрономы о концептуальной важности разнообразия, как такового, не заявляют.

3. В какой из наук и учебных предметов полное разнообразие земной природы может быть отражено?

Упрекать классиков биологии XVIII – XX веков в том, что биосферой с человечеством они не занимались, и места в схеме живой природы им не нашли, нет никаких оснований. Наука развивается не быстро. Но в начале XXI века биосфера людям известна и осознана как главный гарант жизни организмов (включая людей). Поэтому относительно биосферы неизбежно встают вопросы, которые биология несколько веков назад поставила по отношению к видам организмов и на них свой эволюционизм завершила: каково происхождение и эволюция биосферы и всех других жизнеобитаемых объектов? Этот вопрос отвечает реалиям нашего времени, поскольку в начале XXI века люди должны знать и понимать жизнь на Земле во всей её био-

сферной полноте. Учебники этому современному условию не удовлетворяют. Констатируем поэтому другой важный познавательный факт: **общее разнообразие живых, жизнеобитаемых и косных объектов, образующих земную природу, разделено между специализированными науками и в полном виде нигде (кроме не вполне еще зрелой биосферологии) целиком не охвачено. Учебная модель земной природы излагается в пропорциях выявленных наукой три века тому назад и несет в себе устаревшие приоритеты.**

В учебниках по биологии живые тела рассматриваются в первую очередь, а жизнеобитаемые, жизнеподдерживающие (экосистемы, биосфера) следуют за ними, как бы продолжая эволюцию организмов, причем на основе тех же законов дарвинизма и генетики. Между тем, очевидно, что жизнь и обитание неразделимы. Зачаточные популяции, сообщества экосистемы и зачаточная биосфера (или множество локальных, её очагов) должны были появиться одновременно с организмами. Вся многоуровневая основа современной биосферы сложилась изначально. Неоднократно высказывая мысль о вечности жизни на Земле, В.И. Вернадский мог иметь в виду вечность жизни вселенских биосфер, при том что жизнь организмов (или других её форм вне Земли) системами типа биосфер может при наличии необходимых условий автоматически порождаться. Иными словами, “происхождение” организмов в теле биосферы могло быть аналогичным “происхождению” цыплят в теле курицы. “Общим корнем” жизни могло стать не безумно-комбинаторное возникновение ДНК, не появление капелек-коацерватов по А.И. Опарину, и не обязательно жизнь была продуктом сверкающих над вулканами молний (вспомним химический синтез аминокислот в колбе с электрическими разрядами). Источником, “общим корнем” жизни в архее могли стать крохотные, населённые лишь бактериями и, увы, трудно выражимые “микробиосферки” на границе раздела твердой и водной фаз с обязательным участием АТФ, несложных полимеров и чего-то еще. Иными словами, могли быть миллионы раз повторяемые, варьирующие по начальным и граничным условиям локальные попытки Природы осуществить на теплых морских мелководьях гетерогенный катализ, описанный, например, Э.М. Галимовым (Галимов, 2005, с. 467 – 468), а до него упоминавшийся многими. Вот какие важные темы и актуальные научные проблемы рутинное видоцентрическое образование не освещает, даже не упоминает.

Параллельное формирование в эволюции живых и жизнеобитаемых систем, *многоканальность эволюции* вовсе не означает их протекания на основе одного и того же закона – приспособления к среде путем естественного отбора. Дарвиновский отбор разнообразных надтелесных жизнеобитаемых объектов ни в биологии, ни в экологии не описан. На большей части исторического возраста жизни дарвиновского отбора, имеющего генетическую основу, не было вообще. На протяжении первых 3.5 млрд. лет из общих 4.5, первичные жизнеобитаемые системы населяли лишь прокариоты – безъядерные бактерии, неспособные к дарвиновской эволюции. По современным сведениям (Заварзин, 2004, с. 298 и др.), на протяжении всего этого долгого периода видовое разнообразие в бактериальных сообществах оставалось очень невысоким. Монофилетического древа, по-видимому, не было. Вероятнее, что древнейшая жизнь имела облик многокорневого куста.

Основой функциональной организации древнейшей биосферы были группы бактерий с разной метаболической (а соответственно и трофической) специализацией. Не любые, а только метаболически взаимодополняющие друг друга виды и группы являются системообразующими в древних сообществах. Подобно тому, как организация живых тел создается функционально разными клетками, тканями и органами, древняя организация микробных сообществ, экосистем и биосферы строилась на метаболическом взаимодействии (Заварзин, 2004, с. 30 – 66 и схемы метаболических связей на с. 86 и 91) различно специализированных групп бактерий.

Современная биосфера сохранила в себе все предковые микробные формы с их типами метаболизма. Сложившаяся в архее схема функциональной организации жизни остается метаболической основой также и современной биосферы. Разумеется, в последующей эволюции микробная биота была надстроена всеми последующими эволюционными группами с их типами обмена веществ и разнообразными механизмами поиска, ловли и поедания жертв и т.п. Однако, доля участия тканевых организмов в общем обмене веществ биосферы убывает с увеличением индивидуальной массы тела. Поэтому вклад мелких форм, а среди них – бактерий, в обмен веществ современной биосферы наиболее велик (Горшков, 1995, с. 24 – 27; в более доступной форме см: Хайлов и др., 2005, с. 218 – 219).

Если живые и жизнеобитаемые объекты имели разные законы эволюции, то в какой мере и в чем именно эти законы различались? Ответ науки далеко еще не готов. Создатель первой научной концепции биосферы, В.И. Вернадский, различал эволюцию организмов, эволюцию биосферы и эволюцию косной Земли в добиологический период. Физическая, геохимическая и геологическая эволюция планетарного тела Земли протекали задолго до появления жизни. Идею многоканальной эволюции Земли и жизни, Гео и Био, современные биосферологи углубляют и конкретизируют.

Из сказанного выше о биосфере вытекает еще одна познавательная констатация: **не охватив всего разнообразия живых и жизнеобитаемых систем (от бактериальной клетки и первичных сообществ до биосферы с человечеством внутри) невозможно построить ни современную экологию, ни современное природоведение.**

Накопленные к началу XXI века научные сведения о биосфере обязывают наряду с проблемой эволюции видов обсуждать в системе образования проблему многоканальной эволюции жизни на Земле. Эволюция организмов по Дарвина с важными доработками XX века базируется на явлениях наследственности, передаче генетической информации во все клетки и органы развивающегося существа. Но экосистема и биосфера существами не являются. Масса косного вещества в них превышает общую массу организмов на много порядков величин. При таком колоссальном разбавлении “живого вещества” (а разбавление генетического материала в Мировом океане еще многократно больше) генетический механизм управления структурами и функциями в экосистемах и биосфере невозможен. Науки о Земле компетентно указывают на преобладание в биосфере физических и химических процессов. Биологические процессы им сопутствуют и отчасти их модифицируют. Сила биологических процессов определяется участием многочисленных специализированных ферментов многократно ускоряющих биохимические реакции в организмах. Видоцентрическая концепция эволюции жизни нисколько не пострадает оттого, что рядом с ней в системе образования появится дополняющая её модель эволюции биосферы.

В этой лекции дается лишь самый общий и краткий очерк вопросов, которые в последующих лекциях будут подробно обсуждаться в контексте экологии.

4. Метрическое отображение главных объектов биосферы и объективное положение человека в природе

В учебниках по биологии сообщается, что самая интересная и важная задача этой науки – объяснить разнообразие жизни, происхождение разных видов и эволюцию организмов. Излагаемый в учебниках эволюционный путь всегда начинается с бактерий и заканчивается биологическим видом *Homo Sapiens*. Человека называют *разумным*, а поэтому “высшим”, “главным” существом в живом мире. Соответственно, биологическую совокупность людей признают “высшим” и “главным” видом жи-

вой природы. Домысливается, хотя в учебники и не записывается, что с правом распоряжаться на Земле всем ее живым и косным веществом планеты.

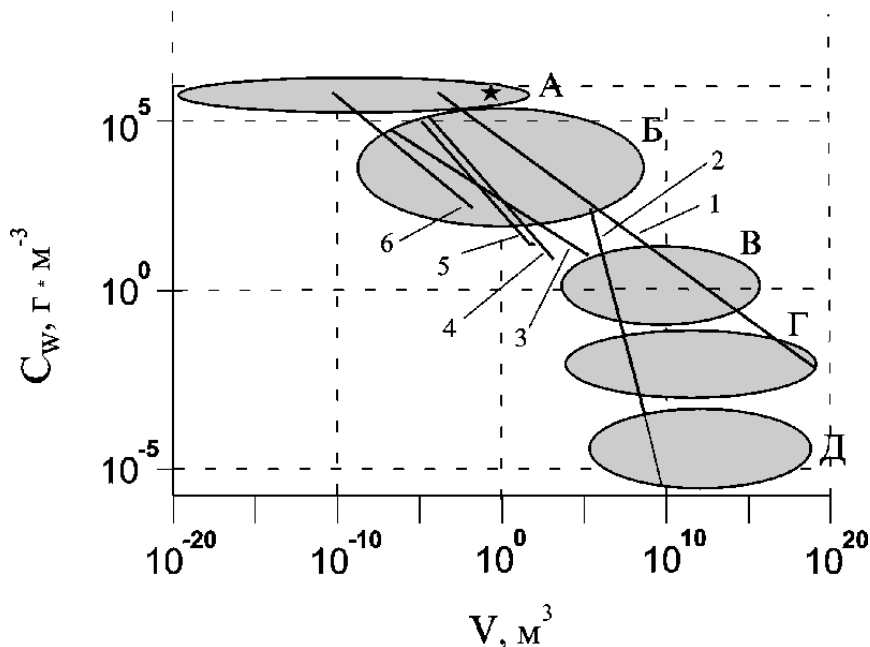


Рис. 1.3. Основные группы живого вещества и соотношение $C_w(V)$ в метрике биосферы. Номера линий: 1 - две длинные линии пад углом одна к другой, охватывающие все эллипсы (А, Б, Г, Д) - это обиталища наземных насекомых, гнезда птиц, норы диких животных, помещения для сельскохозяйственных животных и людей, зообентос в морях и заливах, зоопланктон и зообентос в Мировом океане); 2 - зообентос в морях и озерах; 3 - пологи высших наземных растений; 4 - пологи морских макрофитов; 5 - кроны фукусов и аскофиллумов; 6 - пологи морских многоклеточных и одноклеточных водорослей на поверхности искусственных рифов по (Хайлов и др., 1999). Овалы: А - область, занимаемая в метрике $C_w(V)$ телами живых организмов - от одноклеточных водорослей до крупнейших животных; Б - область, занимаемая системами интенсивного сельскохозяйственного растениеводства, животноводства, морской фитоаквакультурой, жилыми и прочими человекообитаемыми системами; В область рыболовства в озерах и малых морях; Г - область крупных озер, морей и океанических вод с низкой концентрацией живого вещества; Д - область глубоководных океанических вод и больших олиготрофных озер. Звездой отмечено положение человека в метрическом поле C_w по V .

Эти слова выделены в тексте намеренно и вот почему. Высшее, центральное положение людей на Земле наукой было объявлено на основе, казалось бы, неоспоримых фактов. В начале XXI века, с достигнутым уже пониманием окружающего живого мира, уместно спросить себя: не “осознает” ли любое живое существо, например, бактерия (на ее хемо-рецепторном уровне “осмысления”) самое себя центром и главным хозяином своего нано-масштабного мира? Имея за спиной опыт современной науки, уместно предположить, что любое индивидуальное “я”, даже хемосенсорное дает повод и право каждому биологическому виду утверждать, размножать, расселять по Земле себя и себе подобных. Осознание человеком своего статуса, как существа особого, высшего, центрального было *потенциально ошибочным*.

Можно ли избежать субъективизма в оценке “я” – любого, хоть у бактерии, хоть у слона? Можно ли объективно определить положение человека, хотя бы как отдельной особи, среди всех других земных существ? Ответ на вопрос о месте человека в биосфере будет обсуждаться на протяжении всей книги, в разных ракурсах. Он не самый главный, но с ответами на него связаны выводы всего курса лекций.

На рис. 1.3 показана метрика поверхностных водоемов биогидросферы Земли. Обитаемая часть биогидросферы включает в себя все поверхностные воды – океаны, моря, озера, (реки нами не приведены) а также всех гидробионтов от бактерий до китов. На абсциссе графика отложен индивидуальный геометрический объем, V , м^3 , водоемов (примерно от 10^4 м^3 – небольшой пруд, до 10^{19} м^3 – Мировой океан) и индивидуальный геометрический объем живых тел (от 10^{-20} – бактерии, до $2 \cdot 10^2 \text{ м}^3$ – киты). Весь размерный ряд от бактерий до Мирового океана охватывает 40 порядков величин по V . На ординате отложена объемная концентрация живого вещества $C_w = W/V$ в г живой массы на 1 м^3 . (здесь W – общая масса организмов в соответствующих водоемах). Линии на рисунке – регрессии, соответствующие соотношению $C_w(V)$ рассчитанные на основе многочисленных литературных данных. Овалами на рисунке показаны основные типы водных экосистем за исключением овала А, обобщающего ряд гидробионтов от бактерий до китов; в эту группу входит и усреднённый человек, как особь; на рисунке его положение в координатах $C_w(V)$ обозначено звездой.

В мировом обществе, особенно в его религиозной и научной сферах издавна обсуждается вопрос о статусе на Земле и даже во Вселенной людей, как сынов Всевышнего, как биологического вида, как каждого отдельного Человека, как особи высшего порядка, и людского социума как единого целого с общей, глобальной судьбой. Не будем касаться весьма иллюзорного мнения о том, что человек (или человечество?) является как бы “смысловым центром”, Вселенной ее “предназначением”. Прежде всего отметим, что положение, статус, любого природного, организованного, развивающегося, движущегося объекта определяется множественно – по положению в иерархии уровней организации природы, по его эволюционному положению, по уровню динамической активности (по обмену вещества, энергии, информации; примеры разных оценок такого рода в *Школе* будут обсуждаться) и по другим объективным характеристикам. Какого либо *интегрального и при этом измеримого критерия статуса*, охватывающего собой людей как генетический вид, человека как особь, и человечество как некую генеральную совокупность, мировая наука не вырабатала, а интуитивные оценки научного веса на имеют.

В рамках этой лекции нас интересует, прежде всего, положение в метрике среднего индивидуального человека (масса его тела принята за 50 кг). Величина C_w для человека рассчитана при условии, что V – средний индивидуальный объем тканевой воды в теле и W – масса сухого органического вещества в теле (подробнее в: Хайлов, 2001). Характерная особенность метрики $C_w(V)$ – её логарифмическая симметрия по отношению к величине 10^0 , т.е. 1 м^3 . Тело среднего человека, как и ряда других крупных млекопитающих, находится вблизи 1 м^3 , а по ординате – в группе с наивысшей концентрацией живого вещества (в правой части овала А).

Не усматривая в такой симметрии никакой мистической тайны, уместно задать естественный вопрос: поскольку логарифмическая симметрия по отношению к 10^0 не зависит от выбранных единиц измерения, не существует ли естественных причин тому, что левое крыло ряда, т.е. **почти все виды организмов** (10 порядков величин) и его правое крыло – тоже 10 порядков (все надорганименные, т.е. **экологические объекты** биосферы) логарифмически равновелики?

Не будем обсуждать этот не самый простой вопрос дальше (желающие могут заглянуть в научную литературу). В рамках лекции нам достаточно показать наглядно, что сообщая используемые всем человечеством обитаемые водные экосистемы

Земли сосредоточены в правой половине логарифмической метрики биогидросферы. Между тем, биологически ориентированное природоведение знакомит нас в основном с левой половиной метрики (уже упоминавшийся овал А). График на рис. 1.3 наглядно подтверждает, что **преподаваемое сегодня биологическое знание имеет совсем не те пропорции, которые присущи природе в действительности. Недостает именно экологических и биогеоэкологических знаний.**

Все сказанное во вводной и в первой тематической лекциях резюмируем так: Экология относительно спокойного (в научном отношении) XX века закончилась. Главная черта начала XXI века состоит в том, что давно уже наблюдаемые признаки нестабильности “окружающей среды” стали зримо множиться и расширяться в глобальном масштабе. Перспектива “устойчивого развития”, обсуждавшаяся в последнем десятилетии XX века, вызывает теперь большие сомнения. Ее сменила гораздо более актуальная и беспрецедентно сложная проблема выживания человечества на Земле. Безусловно, не шаг к выживанию, но отчетливый знак грозящей мировой опасности – создание в толще гренландских скал подземного хранилища семян растений в целях восстановления земной флоры на случай её гибели от глобального кризиса.

Проблематика всего биологического природоведения XX века, основанного на идее видоцентризма с его концептуальным завершением – человекоцентризмом, оказывается ущербной. Ни дикие виды, ни люди сами по себе жить не могут. Они живы только в составе биосферы и благодаря ей. При утрате её автоматически поддерживаемой стабильности виды гибнут. Этот горестный исторический урок обязывает пересматривать основы и исследовательского природоведения, и природоведческого образования.

Главными объектами изучения, использования и охраны должны стать не живые тела и их виды (о них знаем достаточно, но познавательной перспективы у биологии никто не отнимает), а разные “виды” надтелесных обитаемых объектов, доля живого вещества в которых очень мала, вплоть до ничтожной. Их изучение – не дело биологии; это дело наук о сложных природных системах с населением, состоящим из самых разных живых существ, включая людей. Такие системы могут изучаться только на междисциплинарной основе, преимущественно в общенаучных терминах. *Школа биогеоэкологии* была задумана как один из вариантов такого подхода.

Последующие лекции *Школы* будут направлены на изучение всего ряда естественных, биокосных объектов, телесных и надтелесных, поскольку последние невозможно рассматривать без организмов. Однако основное внимание будут уделено той части всего ряда, которая лежит в её правой части (рис. 1.3). Экология классического типа и стиля будет изложению сопутствовать.

Лекция 1.3. Законы вселенские, биологические и социальные: совместное их действие в биосфере

1. Глобальный кризис как утрата системной устойчивости в обитаемой области Земли
2. “Борьба за существование” в живой природе и в человеческом обществе
3. Земледельческие ресурсы биосферы. Успехи использования и отложенные проблемы

В начале XXI века, отчасти в науке, но гораздо больше в образовании удерживаются застарелые научные и идеологические мифы, не замечаемые в силу давней привычки к ним. В базовых разделах биологи принято считать, что живые и неживые (косные) объекты “принципиально различны”. Социологи марксистской ориентации полагают, что законы организации и эволюции в мире биологических и людских социальных систем тоже “принципиально различны”. То и другое – научные мифы. На самом деле, между разными природными объектами всегда имеются как черты сходства, так и черты различия и вопрос заключается только в соотношении того и другого. Утверждение же о “принципиальном”, или “качественном” различии, характерное для философии, естественнонаучного смысла не имеет.

В основе сходства внешне совершенно разных структур и процессов лежат скрытые от глаз общие законы организации и развития природы, живой особенно. Специфика же видна на поверхности явлений. Поскольку яркая специфика всегда бросается в глаза, ее оценка внешними наблюдателями завышается, а общенаучные законы остаются не осмысленными. В последующих лекциях разные проявления общих законов природы, как и специфика структур и процессов на всех уровнях организации обитаемой области Земли, будут проиллюстрированы на самых разных примерах.

В этой лекции речь пойдет лишь об основополагающих законах Вселенной, неизменно выполняемых в составе косного Гео и живого Био, плавно переходящего в живое Социо. Осознание их проявлений в ряду Гео-Био-Социо поможет пониманию кризисных явлений, которые давно уже развиваются в обитаемой области Земли. Обширная группа давно идущих изменений в окружающей среде получила название “экологического кризиса. На него наложилось множество аномалий в климате, вызвав споры в научной среде – антропогенное ли это явление, или другого рода. Кризисные процессы в обществе идут из ранней истории. Примерно с середины XVIII века прежние экологические проблемы осложнились последствиями промышленной революции. В начале XXI приходится констатировать, что в обитаемой области Земли сложилась кризисная пирамида – система связанных между собой и продолжающих развиваться опасных процессов. Глобальный системный кризис, охватил все уровни организации биосферы.

Как и почему эта кризисная пирамида сложилась? Закономерна ли она, или это продукт множества дурных случайностей? В самой общей форме ответ банален – и то, и другое. Все дело в выявлении ее закономерных, базовых составляющих, с одной стороны, а с другой – явлений, обусловленных спецификой структур и динамик на разных уровнях организации, а также вызванных внешними переменными.

1. Глобальный кризис как утрата системной устойчивости в обитаемой области Земли*

Изменчивость и эволюция, с одной стороны, и неизменность, стабильность – с другой, представляют два взаимно дополнительных и одинаково важных аспекта бытия. Однако по субъективному восприятию изменчивость окружающего мира кажется гораздо важнее его стабильности. Такое суждение понятно: изменчивость, особенно в сфере жизни, бросается в глаза, а стабильность воспринимается как мало интересная, научно пустая неизменность. Не случайно ближайшие к нам XIX и XX века, богатые научными открытиями в области биологии и общего земного природоведения, прошли под флагом изучения эволюции живой природы. Примат эволюции распространился и на вселенское природознание, проблемным центром которого было и остается происхождение и эволюция мироздания.

При всем том, сложные динамические основы устойчивости обнаруживались почти всеми специализированными науками. В физике, биологии и социологии устойчивость объектов и процессов интерпретировалась в специфических терминах этих наук. К концу XX века были уже известны и всеобщие, термодинамические основы самоорганизации и динамической устойчивости природных систем. Базовые основы бытия излагались в учебниках общего природоведения, но в биологические, как правило, не попадали, или разъяснялись слабо. В учебной биологии, в которой эволюционная идея до сих пор доминирует, с очевидностью недостает внятной концептологии динамической стабильности живой природы.

Во второй половине XX века самые впечатляющие успехи были достигнуты в молекулярной биологии и генетике. В этих науках сложилась так называемая “синтетическая теория эволюции” жизни и живой природы (СТЭ). О том, в каком смысле она действительно является “синтетической”, речь пойдет в другом месте. Здесь отметим, лишь, что она отражает понимание жизни лишь в терминах биологических видов, т.е. основана на идее *видоцентризма*. Из этой идеи вытекает и убогая мысль, будто главной основой стабильности жизни на Земле является видовое разнообразие организмов. При всей важности любого разнообразия на Земле и в космосе, основой динамической стабильности природы является отнюдь не оно. К концу XX века в межнаучной среде сложилось несколько объяснений динамической стабильности природы, в том числе концепция физико-биологической устойчивости современной окружающей среды (Горшков, 1995, Gorshkov et al, 2000**) и биологической устойчивости древнейшей биосферы (Заварзин, 1999, 2000**). Концептология Геи, принятая в англоязычном мире, остается философской, в естественнонаучной плоскости эффективного развития она не получила.

В конце XX века проблема динамической устойчивости природных систем, слишком долго казавшаяся сугубо теоретической, далекой от так называемой “практики”, становится не только прикладной, но и остро актуальной для всего человечества. Сначала она формулируется как пожелание “устойчивого развития человечества”, а теперь уже как “проблема выживания человечества”. К привычному уже “экологическому кризису” добавился ожидавшийся мировой финансово-экономический спад, который грозит перерасти в затяжной и жизненно опасный “глобальный системный кризис” (он же “кризис мирового порядка”).

* Значительная часть текста этой лекции принята к публикации в журнале «Світогляд» НАН Украины.

** Взгляды В.Г. Горшкова, Г.А. Заварзина и других по этому вопросу сравниваются и обсуждаются в книге (Хайлов и др., 2005 с. 203 – 232).

В финансово-экономической плоскости мировой кризис рассматривается соответствующими профессионалами, что выходит за рамки задач и возможностей *Школы биогеоэкологии*. Однако, все явления на Земле, включая социальные, экономические и сопутствующие им другие, связанные с веществом, энергией и информацией, подчиняются общемировым законам природы. С этой точки зрения явления в людском социуме могут, а отчасти и будут, в лекциях рассматриваться.

В интерпретациях мирового кризиса нередко высказывается убеждение, что капиталистической системе присущи периодические спады и подъемы активности, ритмика, смена успеха и неуспеха (пример устойчивой ритмичности дает активность нашего “примитивного” Солнца). Участники и интерпретаторы рыночной системы мировых отношений ожидают поэтому, что идущий теперь спад мировой экономики неизбежно, перейдет в подъем, что спады и подъемы должны закономерно чередоваться. Как бы предполагается, что у нас в обитаемой области Земли, как в недрах Солнца: ритмичная система, но со своей “спецификой”, вроде якобы специфичной для России “вертикальной демократии”.

Между тем, профессионалы базовых природоведческих наук напоминают, что с точки зрения термодинамики, упорядоченные, ритмичные колебания важных характеристик свойственны только очень простым системам. Сравнимы ли по сложности небесная звезда, изнутри горящая плазменным пламенем, и Земля с заумным человечеством на поверхности? В рыночном социуме одновременно участвуют сотни миллионов не скоррелированно действующих производителей и потребителей. Хаотическое наложение друг на друга множества ритмов на разных уровнях организации биосферы приводит ее в состояние наибольшей вероятности (скрытый от глаз хаос), делая ее **макроскопически устойчивой**. В обитаемой области Земли колебания, резкие изменения траекторий макроповедения вызываются либо внутренними сбоями, накопившимися людскими ошибками (а сколько их в хорошо обученном социуме!), либо внешними причинами. В текущем финансовом кризисе рыночной системы внутренним пусковым звеном было, как утверждают специалисты, надувание различных “финансовых пузырей”; для стран с нерыночной экономикой это могло стать внешней причиной их кризиса.

На первый взгляд, такой интерпретации противоречит жизнь любого отдельно взятого организма. Многоклеточный организм – иерархическая система, усложняющаяся на протяжении большей части жизни и при этом устойчивая. Это выглядит как несоответствие законам термодинамики. Однако, онтогенез каждого вида организмов запрограммирован в его наследственных структурах. Если бы генетическое управление организма вдруг отключилось, он оказался бы в состоянии максимальной неопределенности, т.е. минимальной стабильности и был бы обречен. Вредные мутации на протяжении индивидуальной жизни медленно нарушают наследственный код, организма, постепенно делая его все более и более неустойчивым.

В экологических объектах большой сложности – сообществах и экосистемах собственных генетических структур нет. Как же эти “размытые” объекты формируются, чем определяется их динамическая стабильность, не такая бросающаяся в глаза, как у организмов, но им вполне достаточная? Основные факторы их устойчивости можно свести к следующему: 1) большая или очень большая численность структурных единиц, слабо скоррелированных между собой; 2) структурно-функциональные комплексы сложных экологических объектов размещаются на разных уровнях их организации, а размеры самих сообществ и их структур охватывают много порядков величин; 3) часть структур и потоков вещества, энергии и информации в “размытых” объектах находится в вероятностном (хаотическом), состоянии т.е. в заведомо динамически устойчивом режиме; 4) динамическую устойчивость другого рода экологическим объектам придают скоррелированные между собой кольцевые метаболиче-

ские потоки, такие как обмен CO_2 и O_2 между растениями животными; кольцевых, полужамкнутых потоков в сложном сообществе имеется достаточно много; 4) два эти типа динамической устойчивости взаимно дополняют друг друга, придавая таким объектам большую свободу поведения, авторегулирования, а также широкую возможность адаптации к локальным внешним условиям.

Выше были названы лишь четыре группы условий стабилизации. Однако на разных уровнях организации действуют специфические регуляторные подсистемы. Поэтому в целом правильное утверждение о важности разнообразия организмов обязательно должно сопровождаться **численной оценкой парциального вклада разных видов организмов в общий регуляторный пул каждого, конкретного объекта**. Априорно одинаковым вклад разных групп организмов в функционирование локальных сообществ не может быть в принципе. В последующих лекциях будут рассматриваться уже известные науке причины и закономерности, определяющие вклад разных групп организмов в общий функциональный баланс больших региональных экосистем и биосферы в целом. К сказанному надо добавить, что согласно первому из перечисленных выше условий стабильности природы, разнообразие косных структур также является важным фактором (в дальнейших лекциях конкретные примеры также будут обсуждаться). Здесь сошлемся лишь на наиболее известный в науках о Земле и подробно аргументированный факт исторической геоморфологии. Это разнообразие главных твердых (континентальные плиты, континенты, острова) и жидких (океаны, моря, озера) телесных масс, исторически медленно движущихся в обитаемой области Земли. Без всякого преувеличения можно сказать, что **взаимно согласованное между собой движение, дрейф главных масс на поверхности Земли является одним из базовых условий стабильности земной обитаемой области, как единого целого**. Биологам полезно было бы иметь в виду, что такой динамический механизм позволял Земле **адаптироваться** (без какого либо “естественно отбора”) **к изменениям внешних космологических переменных**, даже самых мощных, изменивших угол наклона оси вращения Земли.

Попутно заметим, что как в ряду твердых, так и в ряду водных тел биосферы имеется широчайшее разнообразие по размерам (от континентов до крохотных островков, от океанов до литоральных ванн объемом в несколько литров). Разнообразие по размерам является ценнейшей формой общего разнообразия природы. Оно имеет свою цену на всех уровнях организации биосферы; ее стабильность обеспечивается очень надежно, что неопровержимо подтверждается миллиардами лет ее существования. В связи с этим отметим, что согласно современным сведениям о древнейшей биосфере (Заварзин, 2000) на протяжении большей части истории биосферы, впервые 3.5 миллиард лет, биосфера имела лишь бактериальное население при сравнительно небольшом видовом разнообразии, достаточном для стабильности жизни в обитаемой области при большом геоморфологическом динамизме в ранней истории Земли.

На фоне нормальной, в целом достаточно устойчивой жизни сложных экологических и социальных объектов происходит историческое изменение множества внешних (по отношению к каждому их них) переменных, называемых “условиями обитания”. Примерно с середины XVIII века, в ходе промышленной революции к неуклонному росту людского населения Земли, добавляется быстрое усложнение и расширение форм человеческой деятельности в биосфере. К концу XX века человечество оказывается под прессом сложнейшего комплекса новых “экологических факторов”, нарастающих напряжений в социо-экономической сфере, связанных со всем этим медицинскими проблемами, а также изменений климата Земли в целом.

На протяжении шести-семи десятилетий XX века правительства ведущих промышленных стран развитием кризисных явлений в природе почти не интересовались. Научные представления о биосфере Земли были сформулированы В.И. Вернад-

ским еще в первой четверти XX века, но даже в научной среде внимания не привлекли. Во второй половине XX века господствующим экологическим обобщением в главной примышленной стране мира, США, стала гипотеза Геи, предложенная (без знания работ В.И. Вернадского) Дж. Лавлоком (Loveloc, 1982). Идея Лавлока состоит в том, что планетарное тело Земли в целом со всем ее живым населением представляет собой некий супраорганизм – Гею. Соответственно, постулируется, что Гее в целом свойственны глобальные жизненные функции, и – можно обсуждать жизнь и даже “физиологию” Геи. Подробно излагать это философское учение в *Школе* нет необходимости, поскольку лекции базируются на концепции биосферы в ее понимании В.И. Вернадским. Однако, некоторые замечания относительно Геи, как одного из вариантов философии природоведения, будут попутно высказаны.

2. “Борьба за существование” в живой природе и в человеческом обществе

Все важные для жизни на Земле системные цепочки пролегают через природные ресурсы – возобновимые и невозобновимые. Главный возобновимый энергетический ресурс – солнечная энергия, а невозобновимый – горючие ископаемые. Расходование ископаемых энергетических ресурсов в биосфере с “дикими” (до человеческими) существами природой предусмотрено не было; исконные обитатели в них не нуждались. Главные жизненные ресурсы автотрофной биосферы – атмосферный кислород, питьевая вода, органическая пища и необходимые минеральные элементы биосферой возобновляются в автоматическом режиме. Условием сохранности биотического круговорота является поддержание в земной биоте определенных соотношений между всеми ее членами от бактерий до крупнейших животных. В последующих лекциях эти соотношения будут рассматриваться подробно. Здесь отметим лишь, что исконное и главное население Земли выполняло заданные природой биосферные нормы потребления всех жизненных ресурсов. По мере развития и роста человечества это базовое условие стало все более и более нарушаться.

Конкуренция между особями видов, близких по спектру жизненных потребностей в мире “диких” была, но борьбы всех против всех с массовой гибелью или бесплодием неуспешных не было. Формулу всеобщей и жестокой борьбы придумали люди и возвели в ранг главного закона эволюции жизни на Земле. Конкуренция была и будет всегда, но ее роль, острота и важность были сильно преувеличены в период массовой научной и общественной эйфории, вызванной учением Дарвина (1809 – 1882) о происхождении биологических видов. Предложенное Дарвином объяснение образования новых видов поражало своей простотой и зримо подкреплялось успехами в выведении новых видов растений и пород животных путем искусственного отбора.

В период всеобщей научной эйфории были забыты более ранние и глубокие, но лишь интуитивные (в отличие от зримо подтверждаемой концепции Дарвина) прозрения Ламарка (1744 – 1829) о том, что эволюция жизни двудина, складывается неадаптивным процессом повышения организации (“градации”; теперь бы сказали – саморазвитие) и адаптациями к условиям обитания путем “упражнения органов”. Во времена успешного натурализма второй половины XIX века не было по достоинству

оценено также и философское прозрение Кювье (1769 – 1832) о “жизненном вихре”. В конце XIX века оно было глубоко осмыслено В.И. Вернадским, став основой его понимания биосферы и “биогеохимических круговоротов” в ней.

Видоцентрической концептологии дарвинизма очень повезло. В первой половине XX века она получила мощную и фактологически безупречную поддержку со стороны самых передовых разделов биологии. Выяснилось что в основе кажущейся простоты наследования “признаков” лежат сложнейшие процессы на разных уровнях организации живых существ и в их генетических популяциях. Более того, идея наследственных адаптаций путем отбора перешла в социологию и стала рассматриваться как форма эволюции людского общества, вызвав долгие споры сторонников и противников “социального дарвинизма” и идей искусственного расового улучшения.

Чем дальше не очень еще зрелая научная мысль уходила в мир отвлеченных идей, тем больше росла потребность вернуться к формам дочеловеческой, “дикой” жизни. Жизнь основных групп растений и животных миллиарды лет оставалась динамически стабильной. Надежное тому свидетельство – сам факт длительной эволюции. На протяжении первых трех миллиардов лет население биосферы (безядерные бактерии, без развитого генетического аппарата) формировалось без дарвиновского отбора. Отбор на генетической основе, обеспечивающий стабильность онтогенеза тканевых организмов, сложился сравнительно недавно. Современное население биосферы, исторически очень молодое, увенчалось, наконец, человечеством.

Развитие мозга дало древним людям базовое конкурентное преимущество – мышление и изобретательство. Успех первых изобретательств стал порождать новые, все более и более изощренные новации, отдаляющие людей от “диких”. Этот процесс шел с ускорением. К концу XX века антропный процесс стал стремительным, разрушающим как живую природу, так и свою собственную среду обитания. Безоглядная наука помогала разрушать и самое, казалось бы, **неприкосновенное – биологическую природу человека, его генетическую, психическую и нравственно-этическую устойчивость**. Кроме базовых естественных благ люди стали нуждаться во множестве благ природе не свойственных, но индивидуально желаемых и даже жизненно необходимых (лекарства и другие медицинские и общежитийские услуги).

При таких условиях генетические мутации, как эволюционный “сырой материал”, и вся научная модель СТЭ теряют свою объясненную наукой роль. Ситуация становится свершено непохожей на естественную жизнь. Реальная эволюция современного общества определяется сложным взаимодействием огромного множества компонент в обитаемой области Земли, измененных и продолжающих изменяться руками людей, устройства биосферы не знающих и не понимающих. Глобальная совокупность этих процессов нигде не изучается. Это системы с хаосом, потенциально устойчивые. Однако в них действуют очень сильные и нередко тоже устойчивые внутренние переменные (пресловутая “политическая воля” в числе главных; характерно, что самые одиозные партии называют себя “силами”), могущие вызывать резкие мало прогнозируемые возмущения и системные болезни – кризисы.

3. Земледельческие ресурсы биосферы. Успехи использования и отложенные проблемы

Исчерпание любого природного ресурса в той или иной мере угрожает жизни населения. На ресурсах, как на мраморных колоннах, держащих своды дворцов и храмов, появляются трещины. Любые трещины фрактально ветвятся с теми же, как у стареющих дворцов, последствиями. Трещины же на главных жизненных ресурсах опасны в глобальном масштабе. Посмотрим, как опасности, приистекающие от сти-

хийного, неумелого природопользования возникают, накапливаются и вдруг обнаруживаются.

Заполучив в руки огонь, люди совершили “огненную революцию”. Это был явный успех, но также одна из первых трещин в будущем людском мироустройстве. Изобретя топор, люди стали рубить деревья строить жилища, лодки и тысячи кораблей с высокими и красивыми деревянными мачтами. Древесные ресурсы убывали. Огонь согревал и ублажал людей, а “огненная” трещина на судьбе человечества начала ветвиться. Дефицит древесины породил лесоводство – снова успех, но и трещина. Лес – один из жизненных органов биосферы. Теперь он почти вырезан и заметен кормушкой для людей, автомобилей, самолетов и прочих стальных зверей. Безлесье погнало человечество в подземные кладовые биосферы, за каменным углем, нефтью и газом. Их освоение было началом вереницы успехов – развития многих форм деятельности, отраслей промышленности, новаторских технологий XX века. В эту же череду вошло высоко механизированное земледелие, интенсивное растениеводство и промышленное животноводство. И, конечно же, наука; но уже не источник “чистого знания”, а служанка неограниченной (напомним, что **ограничение всего** – главное правило и условие бытия) людской жадности и корысти. Впечатляющая череда успехов, льстиво подтверждала идею величия и могущества Человека. Казалось, она сулила светлое и радостное будущее, а на самом деле незримо несла за собой череду осложнений, угроз, сложных проблем и кризисов.

Одним из успешных звеньев научно-технического “прогресса человечества” была химико-технологическая и гениая нано-революция. Успехи от применения удобрений и затем от гениой инженерии в растениеводстве был колоссален. Но где-то на заднем плане потребительского процветания ветвилась едва ли не самая страшная трещина – деградация почв с постепенной утратой их естественного плодородия. Почвенное плодородие – одно из главных условий работы биосферного автомата, обеспечивающего глобальный биосинтез органического вещества. Плодородные почвы – единственные колонны, поддерживающие всю основную массу гетеротрофных организмов в обитаемой области Земли. Людям – умным гетеротрофам, направить себя на поиски путей искусственного биосинтеза ума не хватило. Впрочем, это не путь, который необходим. Путь вполне возможный и науке давно известный лежит у человечества на ладони.

Здесь, с верным путем на ладони, пока остановимся. Среди ряда биосферных богатств, бездумно пущенных людьми в расход под коварным названием “дары природы”, почвы – ресурс уникальный. Он гораздо более необходим для жизни современного человечества, чем все мировые запасы нефти и газа вместе взятые. Плодородная почва с ее приятным для глаз черно-коричневым или темно-бурым цветом гумуса – древнейшая, главнейшая и очень сложно организованная биокосная система. Она состоит из мельчайших органо-минеральных частиц. Самые мелкие из них имеют на своих поверхностях наибольшую плотность свободной энергии. Эти частицы “отпечатываются” на бактериях, которые теснейше к ним примыкают. Здесь же, на этих поверхностях начинаются вещественные, энергетические и информационные цепочки метаболизма. Важно, что ищущие свой путь вещества гидратируются здесь *адресно*, при участии клеточных мембран с АТФ на них. Ветвящиеся метаболические цепочки (опять фрактал) устремляются затем во все вышележащие ярусы биосферной жизни. Почвы функционируют на базе согласованного метаболизма всех основных биологических групп, от бактерий до млекопитающих. Почвенный покров Земли можно сравнить только с Мировым океаном.

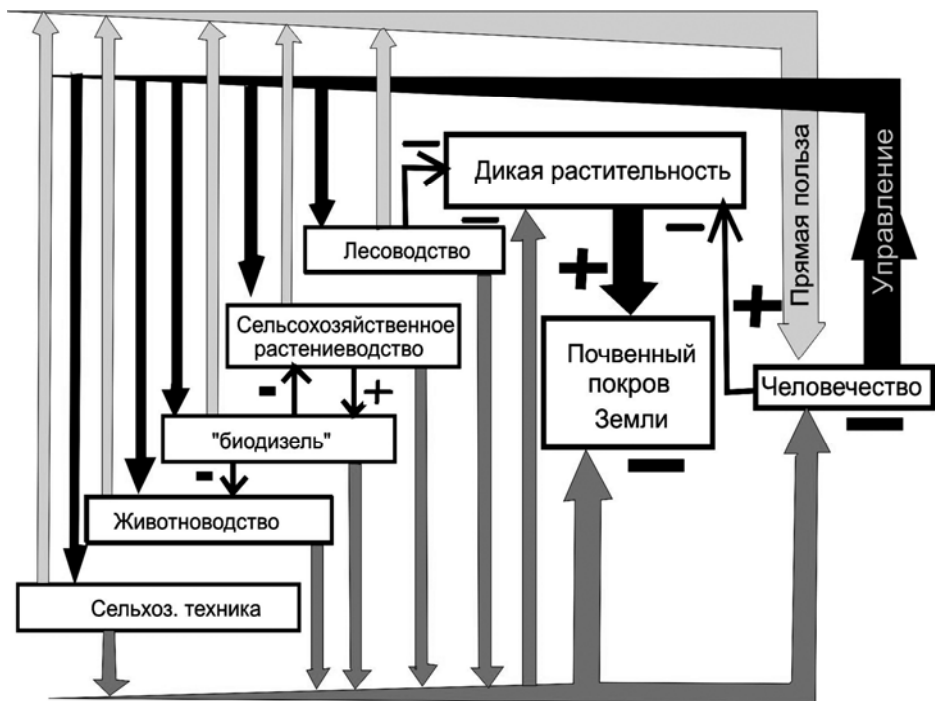


Рис. 1.4 Блок-схема главных природопользовательских связей между человечеством и остальной биосферой. Назовем три группы положительных (плюсы) и отрицательных (минусы) связей между человечеством и отдельными природными и рукотворным блоками: 1) прямая польза от рукотворных блоков, 2) людское управление отдельными блоками и 3) отрицательное, в основном отдаленное (отложенное) влияние рукотворных блоков на почвенный покров и человечество. Жирным контуром выделены главные жизнеопределяющие блоки. Главным хранителем почв и почвенного плодородия является дикая травянистая растительность, испытывающая на себе мощное отрицательное влияние человечества. Культурная травянистая растительность может оказывать положительное влияние на почвы лишь при определенных условиях, которые выдерживаются редко.

Мировой океан имеет окраинные моря, а в них большие заливы, фьорды, мелкие и мельчащие изгибы берегов – длинный ряд фрактальных земных матриц. В этом у океанов с почвами принципиальное сходство; но есть и важное различие. Водные структуры океанов, так называемые “сплошные среды”, массивны, с характерной глубиной в сотни и тысячи метров. Напротив, характерная глубина почв – сантиметры и немногие метры. В океанах, почвах, в любых биокосных структурах косное и живое находятся в тесно прижатом друг к другу состоянии и омываются водными растворами. Зона тесного контакта в почвах всегда (кроме засух) обильно омывается дождевой влагой с питательными веществами. Вот почему почвы непрерывно “рождают”* **Гео и Био в почвах имеют возможность самого интенсивного физико-химико-биологического взаимодействия.** В масштабе Мирового океана интенсивное взаимодействие Гео и Био реализуется главным образом в прибрежных

*Учебники биологии тупо детей учат: рожают только папы и мамы, потому что они живые, а почва – что? Она не живая, значит, топчи ее, жми колесами. Столь прямо учебники, разумеется, не советуют. Однако, именно такой вывод подсказывает учебная “общебиологическая” логика.

экосистемах, на мелководьях, хотя и в ряде других, ситуаций, например в пелагических слоях. Впрочем, сравнение почв и океанов можно продлить гораздо дальше.**

Научное изучение почв в славянской части мира было положено В.В. Докучаевым (1936), а о современном почвоведении можно прочесть, например, в книге Ф.И. Козловского (2003). Характерное время естественного создания и созревания почвенного покрова Земли – тысячелетия. Способы рукотворного поддержания почв и их плодородия и даже его сохранения наука выработала, но это процесс все равно медленный, тогда как рыночный, конкурентный, миропорядок требует ускорения и снова ускорения. Заметим также, что чем выше на эволюционной лестнице стоит тот или иной биологический вид, тем большей опасности от деградации почвенного плодородия он подвергается.

Почти все главные формы хозяйственной деятельности, а соответственно и кризисные трещины проходят через почвы, и поэтому через жизнь человечества. Если разные системные связи с отрицательным знаком сойдутся в почвенном покрове Земли, то главный, пищепроизводящий фонд биосферы может прийти в негодность менее чем за полвека. Предлагаемые сегодня антикризисные меры в виде увеличения парка сельхозмашин и массового использования минеральных удобрений для повышения урожаев естественное плодородие загубят окончательно. Между тем, мировые СМИ сообщают, что продовольственный дефицит глобально опасен уже сегодня. Однако, о состоянии почв в России и в Украине власти и партийные псевдо-силы не заботятся; сельский сектор у них в дальнем загоне.

Наиболее важные системные природопользовательные блоки и связи представлены на рис. 1.4. Как уже говорилось, все технические и технологические новации, принося человечеству важную непосредственную пользу (на схеме - плюсы), подготавливают отрицательные последствия (минусы). Плюсы проявляются относительно быстро, укрепляя в умах веру в могущество человеческого разума. Отдаленные последствия успехов либо не предполагаются вовсе, либо сопровождаются обманчиво-оптимистичным рассуждением: человечество скоро станет настолько умным, что откорректирует любые минусы. Шлейф последствий периодически успешной людской деятельности (рис. 1.5) в богатом технологическими новациями XX веке создает череду глобальных невзгод, ошибочно называемую “экологическим кризисом” или “кризисом окружающей среды”. Нелепость двух этих понятий уразуметь не сложно; достаточно вообразить по аналогии: “медицинский кризис” и “кризис медицинской среды”. Вероятно, медики крайне возмутились бы: никакого кризиса в нашей *профессиональной среде* нет! Словосочетание “экологический кризис” буквально означает кризис в профессиональной среде экологов.

** Центры происхождения введенных в культуру злаков были найдены Н.И. Вавиловым на границах раздела фаз, в гористых фракталах нашего мира. Человек, и не только он, имеет подвижные суставы. Это отпечатанные друг на друге и взаимно пригнанные структуры (как замок и ключ).... Между ними всегда влажное трение и нужен приток и отток “смазки”, как в железных замках. И так на всех бесчисленных, движущихся друг возле друга внутренних поверхностях, от органов увертливой комары до суставов гигантского динозавра. Тонких живых слоев и сложных их пачек в теле человека великое множество. А еще много влажно скользящих поверхностей и пленок. Пленки и слои многочисленны и важны также в пелагиали морей и океанов, в тонкой структуре микросообществ на морской литорали (Бурковский, 2006). А вот пример из области экотехнологий. В современной интенсивной фитоаквакультуре преобладают именно тонкослойные, хорошо просвечиваемые и аэрируемые реакторы. Тот же принцип тонких слоев составляет научную основу конструирования “искусственных рифов” (Хайлов и др., 1994, 1998, Прузикин, 1999, 2001).



Рис. 1.5 Схема, иллюстрирующая череду технико-технологических успехов человечества, переходящую в череду отдаленных последствий. Пояснения в тексте.

Фундаментальные экологические знания триаду Гео, Био и Социо как раз и охватывают. Главными постулатами **экологии выживания** должно стать осознание безусловного главенства Гео – минеральной матрицы жизни с ее ландшафтами и рельефом. Необходимо срочно адаптироваться, как это давно сделала глобальная земная растительность, к ограниченному по мощности, но зато исторически бесконечному потоку солнечной энергии. Предстоит признать, что в нормальной биосфере не должно быть разделения на обитателей главных и не главных. Собственным обитаемым пространством и ресурсами в нем закономерно наделены все без исключения живые существа, каждое по своей норме и человек среди них не главный. А раз не главный, то должен жить по общим законам биосферы.

Экология, скроенная из технологических лоскутов, биосферу полностью игнорирует. Руководствуясь ею, выжить в условиях системного кризиса невозможно. Когда целью становится выживание, образование должно обучать людей оптимальному поведению в соответствии с главной “экологической целью” биосферы – стабилизацией ее внутренней среды (как главная биологическая “цель” любого живого существа – стабилизация индивидуальной внутренней среды; ее дестабилизация означает болезнь и смерть особи). Правила поведения людей на Земле следует искать в дикой природе. Она существует миллиарды лет и правила жизни ее исконных обитателей надежно проверены.

Совета вернуться к состоянию диких зверей сказанное выше вовсе не означает. Напротив, это нынешние порядки в социуме похожи на поведение хищников. В природе же, напротив, господствуют законы кооперации, мирное сожительство всех со всеми. Прямая борьба, кровь и гибель впечатляют и запоминаются, а поэтому довлеют в сознании. В сравнении с борьбой и кровью, мирная жизнь представляется скучной, тусклой, безинтересной. В реальной же природе борьба не главенствует, а лишь корректирует.

Лекция 1.4. Отражение земной природы в биоэкологическом образовании: знания на пороге университета

1. Тематические пропорции научных биоэкологических знаний
2. Тематические пропорции учебников по биологии с основами экологии
3. Сравнение предпочтений старшеклассников к разным объектам природы и разделам природоведения
4. Что делать? ... в системе образования

Приходя на порог университетов, выпускники школ, даже лучшие из них, несут в головах ленты базовых (отдельно по географии, физике, химии, математике) знаний о косной земной природе (**Гео**). К ним механически добавлены биоэкологические ленты, тоже отдельно по **Био** и по гуманитарным учебным предметам (условно – **Социо**). Никакого объединяющего их, интегрального, а по масштабу глобального образа обитаемой области Земли, **системы Гео-Био-Социо с непровязанными связями в ней**, школьники в головах не имеют. Не имеют потому, что нет завершающего образовательный цикл школы скромного по объему, но научно емкого учебного предмета, целенаправленно посвященного биосфере. Предусмотренный в начальных классах курс природоведения выполняет лишь первично-ознакомительную роль, а завершающий курс так называемой “общей биологии” обитаемую область Земли с человечеством в ее составе адекватно по смыслу и содержанию не охватывает, искажает, в чем убедимся ниже.

Тематическую структуру любых знаний можно выявить разными, взаимно проверяемыми способами.

1. Тематические пропорции научных биоэкологических знаний

Науковедение и наукометрия располагают большим арсеналом средств анализа научных знаний, в том числе в тематической плоскости. Одной из форм конспективных знаний являются реферативные издания, специализированные по отдельным, в том числе биогеоэкологическим наукам. Рубрикаторы реферативных журналов составляются специалистами соответствующих наук, что обеспечивает объективность отображения любого целостного массива сведений. Анализ может заключаться в сопоставлении объема публикаций, или представительного количества рефератов по разным рубрикам (объектам природы, темам) за достаточный период времени, например, за год по всем номерам реферативного журнала или выборочно. Результаты анализа могут быть представлены в виде гистограмм, столбики которых отражают процентную долю каждой тематической рубрики в общем выборочном массиве. Предполагается, что тематические пропорции учебных программ и учебников должны в основном соответствовать пропорциям научных знаний в данной области.

Общая особенность отображения любой структурированной системы на гистограмме – ряд разных по высоте столбиков, соответствующих каким-либо аспектам, характеристикам разных структурных единиц (здесь столбики – “полочки” для размещения однородных знаний). Порядок разделов-столбиков (1, 2, 3...) на гистограмме

ме может быть как случайным, так и характерным для данного множества. По отношению к научному знанию содержательная интерпретация гистограммы может касаться степени доминирования одних научных сведений над другими, типичного порядка их следования друг за другом в научных работах (объекты, методология, методы, результаты) и т.д.

На рис. 1.6 представлены результаты тематического анализа, проведенного по международному реферативному журналу Aquatic Science (ASFA) за 1983 и 1984 гг. (выборки рефератов статей в области водной и наземной биологии и экологии). Параллельно анализ проводился по выборке из российского Реферативного журнала "Биология" за 1984 г. Позже аналогичная работа была проведена по ASFA за 1993г, подтверждавшая полученные ранее результаты (здесь обсуждаться не будет).

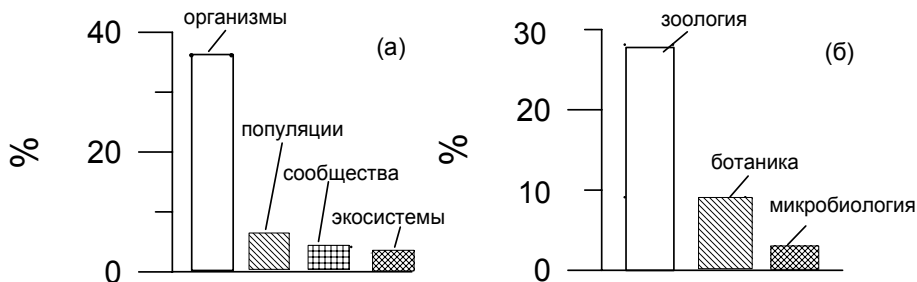


Рис. 1.6. Тематические пропорции научного биогидроэкологического знания а – по выборке из ASFA за 1984 г (n = 8600 рефератов).

Столбики гистограммы на рис 1.6 *а, б* размещены нами в ранговом порядке – от высоких (с доминирующими сведениями) к низким (минорные сведения). Важной собственной характеристикой знания на рис. 1.6 *а* является значительное (37%) преобладание в нем сведений об организмах (в данном случае по всем аспектам их строения и жизни) и значительно меньшая доля по экологии. Сведения по гидробио-экологии представлены также разными по весу тематическими долями: 6% – популяции, 3% – сообщества и 2% – экосистемы (11 % по экологии в целом). Между тем, в лекции 1.2 было показано, что в реальном земном мире соотношения в размерном ряду объектов разного индивидуального объема и структурно-функционального типа заданы самой природой. Если в тематической (по тем же объектам) структуре знания наблюдаются не сходные с природой соотношения, это говорит о несовершенстве, неполноте знания в данном отношении. В реальном размерном ряду объектов биосферы (40 порядков величин по индивидуальному объему) организмы и надорганизменные экологические объекты представлены, как мы могли видеть, логарифмически почти равными долями.

На рис. 1.6 *б* показано, как в том же массиве научных рефератов из ASFA отражены знания по трем главным группам объектов биологии. Из гистограммы следует, что в биологическом массиве резко доминируют знания по животному миру (на зоологию приходится 28% рефератов научных статей), на растительный мир значительно меньше (ботаника, 8%) и еще меньше (3%) знаний по микробиологии. Между тем, по глобальной численности особей и по валовой мощности биогенных потоков вещества в биосфере на первом месте стоят бактерии, за ними следуют растения среднего размера (сельскохозяйственные), а важные для людей и народного хозяйства крупные животные этот ряд замыкают.

Чем же определяется наблюдаемый на рис. 1б противоестественный выбор биологов, предпочитающих изучать животных в первую очередь, создающих всем им пищу растений – во вторую, а главных трудяг и необходимых всем мусорщиков био-

сферы – микробов изучать лишь напоследок? Людской выбор в познании природы субъективен и понятно почему. Мы желаем получать сведения, прежде всего о вещах, пригодных к употреблению, особенно в пищу, а к тому же видных невооруженным глазом и простых в обращении. В качестве пищевых объектов бактерии непригодны, глазом не видны, а в обращении часто опасны. Крупные растения видны, но в пищу пригодны немногие, а мясо животных вкуснее и калорийнее растений. Животных можно использовать также как рабочую силу и одеваться в их шкуры. Себялюбивые мотивы людей, отчасти даже извинительные, издавна ведут к несоответствию между приоритетами в познании природы и ее реальной структурой и оптимальными пропорциями, которые людям необходимо бы знать.

Следует подчеркнуть, что приведенные выше данные о тематической структуре биологии за 80 – 90-е годы к началу XXI века почти не изменились.

2. Тематические пропорции учебников по биологии с основами экологии

Учебники по ботанике, зоологии, микробиологии и некоторым другим наукам до сих пор базируются на понимании жизни как формы существования организмов и их видов. Большая часть объема учебников по этим дисциплинам посвящена описанию качественных признаков растений и животных, их морфологических форм и названий таксонов, что хронически убивает интерес к биологии у большей части вечного потока школьников. В завершающих школьный цикл учебниках по общей биологии видоцентрическая идея повторяется и закрепляется на всю жизнь. Приоритетный учебный ряд общеобразовательной средней школы чаще всего таков: важнее всего внешняя и внутренняя морфология и систематика живых тел, затем их физиология, биохимия, генетика, эволюция видов и сведения по хронологической истории живого мира. Разделы об экосистемах, человеке и биосфере малы, излагаются поверхностно, с грубыми ошибками*. Экосистемы и биосфера включены в состав “общей биологии” в противоречии с базовым определением жизни: “живыми существами” они не являются, не имеют собственной наследственности, биологическим путем не размножаются.

Учебное знание следует за научным и в основных чертах повторяет его структуру. Тематическая структура учебников отчетливо выявляется в оглавлениях с указанием постраничного объема каждой рубрики. Это позволяет составлять гистограммы, высота столбиков в которых (рис. 1.7) отражает сравнительный учебный объем разделов в пределах каждого учебника (количество страниц в каждом разделе в % от общего количества содержательных страниц в книге). Таким образом, гистограммы выявляют *тематические пропорции* учебного знания за тот или иной период времени.

На рис. 1.7 показаны тематические пропорции трех государственных учебников по общей биологии для общеобразовательных школ России и Украины в конце XX и начале XXI века. До распада СССР на всей его территории использовались учебники, составленные коллективом авторов под руководством проф. Ю.И. Полянского. Без существенной переработки они издавались на протяжении более 20 лет. Приведенные на рис. 1.7 *а, б* гистограммы построены по двум изданиям этой

* Подробнее о концептуальных и фактологических ошибках в учебной биологии см. в: Хайлов, Юрченко, Снигирёв, 2005 с. 243 – 263.

серии (Общая биология, 1971 и 1987). В независимой Украине учебники под ред. Ю.И. Полянского использовались еще несколько лет, а затем были заменены государственным учебником Н.Е. Кучеренко и соавторов (Общая биология, 2001), по оглавлению которого составлена гистограмма на рис. 1.7 в.

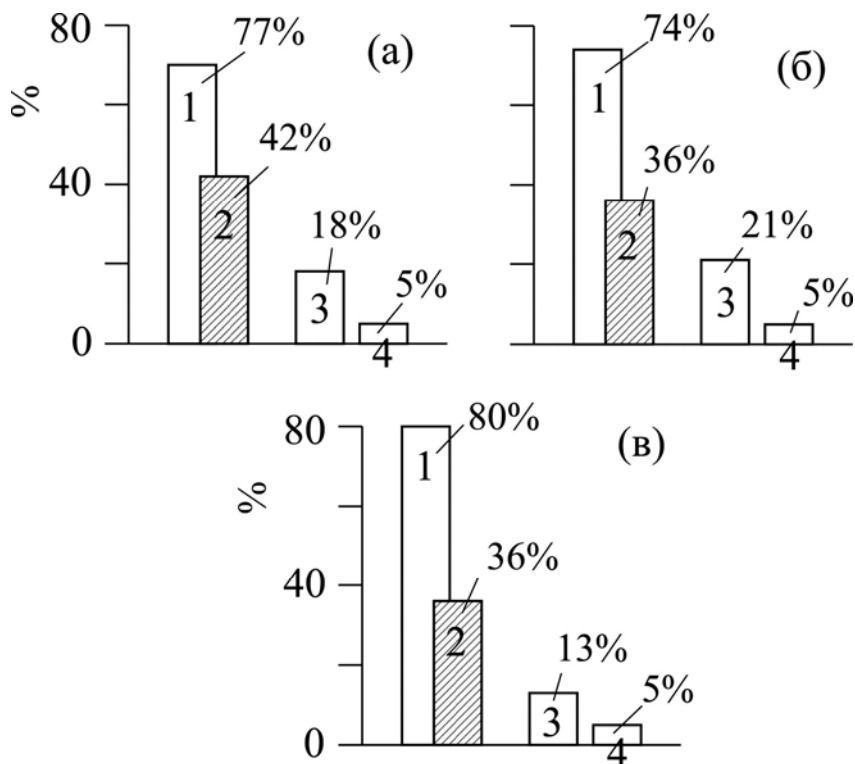


Рис. 1.7. Тематические пропорции трех учебников по общей биологии: а – Общая биология, 1971. Россия; б – Общая биология, 1991. Россия, Москва; в – Общая биология, 2001. Украина, Киев.

Обозначения:

а и б : 1 – все сведения об организмах, 2 – в том числе сведения о цитологии, 3 – сведения об эволюции организмов, 4 – сведения о сообществах, экосистемах и биосфере.

в : 1 – все сведения об организмах, 2 – в том числе сведения об эволюции организмов и истории живого мира, 3 – сведения о сообществах и экосистемах, 4 – сведения о человеке и биосфере.

Сравнение трех гистограмм выявляет давно известный, но обострившийся в последние 3 – 4 десятилетия консерватизм тематических пропорций учебного знания. На гистограммах он проявляется в поразительном сходстве (в учебниках за разные годы) высоты соответствующих столбиков. И это при том, что для сравнения взяты учебники за период (по России) в 20 лет. Сходство поражает еще и потому, что учебники из России и Украины написаны разными авторскими группами. Государственный украинский учебник, использующийся до 2009 г, сохранил базовую структуру аналогичных учебников СССР (рис. 1.7 в). Это почти 40 лет неизменности так называемой “общей биологии”, хотя научная биология и экология в этот период, как и все науки, быстро развивались и усложнялись.

Гистограммы на рис. 1.7 показывают, что в тематике учебников резко преобладают (74 – 77% в России, 80% в Украине) сведения об организмах, подтверждая закрепившиеся за биологией XX века названия - “организменная”, “организмоцентрическая”, “видоцентрическая”. Сведения о сообществах и экосистемах представлены в учебниках в значительно меньшем объеме. Характерно, что биосфера обычно преподается “с человеком”, а не с **человечеством**, которое по ряду вредоносных отходов и мусору давно превзошло “дикое” население биосферы. Постраничный объем экологии в учебниках по общей биологии всегда минимален, 5%.

По мере развития природоведческих наук их объем расширяется, тематические пропорции корректируются, появляются новые направления, разделы, целые отрасли знания, посвященные объектам, которые ранее не изучались. Однако, в структуру базовых биологических (и природоведческих в целом) учебных знаний они не входят, или упоминаются как дополнительные, общего понимания жизни на Земле не затрагивающие. В природоведении трех последних десятилетий отход от классических приоритетов становится все более заметным и существенным.

В противоречии с этой тенденцией, в учебниках по общей биологии повторяются оба приоритетных ряда науки XVIII – XIX веков. *Первый ряд*: организмы и их виды – основа науки о жизни, излагаются с наибольшей полнотой и в первую очередь. Совокупности организмов (популяции и сообщества) менее значимы, излагаются во вторую очередь и в меньшем объеме. Экосистемы и биосфера еще менее значимы, к компетенции биологии не относятся и обсуждаются в последнюю очередь. *Второй ряд*: животные – главные изучаемые части живой природы; меньший учебный вес имеют растения; учебный вес микроорганизмов минимален. В учебное знание эти приоритеты переходили с давних пор, а с начала XIX века (еще до появления знаний об экосистемах и биосфере) стали нормой природоведческого образования во всем мире. Ни у педагогической общественности, ни тем более у учащихся не возникает и мысли, что содержащийся в учебниках образ земной природы радикально отличается от ее реальных биоэкологических пропорций.

3. Сравнение предпочтений старшеклассников к разным объектам природы и разделам природоведения

Известно, что наиболее эффективно наука и образование развиваются в местах их тесного соприкосновения – в университетах (если только это не размножившиеся в последнее время узкие по профилю псевдоуниверситеты). Принято думать, что на порог настоящих университетов приходят наиболее подготовленные, думающие выпускники школ. Именно на этом пороге и не по структуре учебников, а по структуре реальных знаний в головах школьников или начинающих студентов уместно оценивать знания самой интеллектуальной части населения. Оценивать можно на экзаменах, с помощью нестандартно мыслящих преподавателей (*soft*), или “новаторски”, поручив экзамены требующим стандарта машинам (*hard*). Существуют и другие способы мягкого (через *soft*) выявления знаний, в том числе анонимное анкетирование старшеклассников или учеников, уже определивших свой природоведческий настрой, например, участников биологических или экологических кружков и олимпиад.

Ниже будут рассмотрены результаты анкетирования победителей всероссийской биоэкологической олимпиады, проводившейся в 1993 году биологическим фа-

культетом МГУ*. Победители были собраны вместе на летней экологической школе в поселке Челновёршины Ульяновской области России. Участники опроса – 64 старшеклассника из разных школ бывшего СССР и 6 школьников, уже сдавших предварительные экзамены на биофак МГУ. Семь десятков опрошенных – выборка заведомо небольшая, отражающая ментальное состояние лишь небольшой, но во всероссийском объеме весьма важной части молодого населения страны. Опрос проводился одним из авторов этих лекций. Перечни охваченных анкетой природных объектов и учебных тем видны из гистограмм, построенных по результатам опроса (рис. 1.8). Следует особо подчеркнуть, что вопросы были сформулированы не по принципу “что Вы лучше знаете на основе учебника?”, а “знания по каким объектам или темам лично Вы предпочитаете?”. Предполагалось, что учебник – не единственный источник сведений о природе. Школьники выражали свои предпочтения, отмечая крестиком одни позиции и пропуская другие. По окончании опроса положительные ответы по каждой позиции суммировались, и на ординату гистограмм наносилась процентная доля предпочтений по каждой позиции.

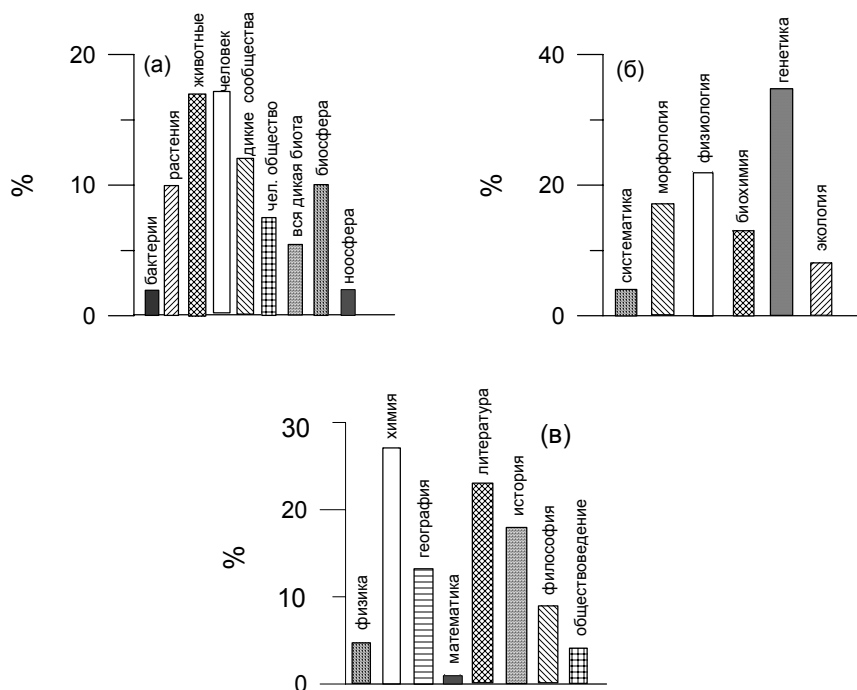


Рис. 1.8. Сравнительные предпочтения к разным типам объектов природы и разделам учебного знания о природе у победителей всероссийской биоэкологической олимпиады МГУ в 1993 г (n = 70).

На рис. 1.8 **а** показано распределение у участников олимпиады предпочтений к разным разделам фундаментальных природоведческих знаний школьного цикла. Среди трех основных групп организмов предпочтение распределяется примерно в тех же соотношениях, в которых эти группы представлены в учебниках по общей биологии: бактерии – 4 %, растения – 10 %, животные – 17 %. Животные идут во главе жизни, а бактерии представляются наименее интересными. Далее оказывается, что

* В составе участников олимпиады МГУ были два школьника 9-го класса, теперь два соавтора этой книги – Д.М. Смолев и Ю.Ю. Юрченко.

сведения по биологии человека не более привлекательны, чем по диким животным. Это отчасти предупреждает последующий сравнительно низкий интерес к человечеству, которое от биологии отчуждено и в ее учебниках не обсуждается. В учебниках по биологии человек присутствует лишь как биологический вид с понятным добавлением – его здоровьем. Поразительно, что не обсуждаются должным образом главные людские функции – мышление и труд. На порог университетов, т.е. в сложный, противоречивый, взрослый людской мир выпускники школ приходят, **не имея элементарных представлений об индивидуальном и социальном мышлении**. Если средняя школа, эту заботу на себя не возьмет то она ляжет на плечи первых курсов в университетах; это желательно сознавать.

Знания об экологических совокупностях организмов – сообществах “диких” животных и животных “культурных”, т.е. людей, для школьников менее привлекательны, чем сведения об особях тех же двух эволюционных групп (13 и 8 % соответственно). Это объясняется общей организмо- и видоцентричностью биологии, в которой сообщества выступают как объекты гораздо меньше важные для понимания жизни, чем особи и их виды. К тому же культ особей в школьной биологии не сопровождается разъяснением того несомненного и важного факта, что реальными участниками процессов в земной природе (включая и повторяющиеся в истории экологические кризисы) являются *не особи*, а их *множества*, глобальную биогеохимическую роль которых всегда подчеркивал В.И. Вернадский. Признаем общий большой просчет школьного природоведения: “множество”, как фундаментальное общенаучное понятие почти никогда в природоведческих учебниках не обсуждаются.

Главный объект земной природы – биосфера занимает в умах и мышлении участников олимпиады МГУ незначительное, хотя и не последнее место, 10 %, Последнее место принадлежит ноосфере, что и понятно: не только в школьных учебниках, но также в околоскольной литературе и в СМИ ноосфера выступает нечетко и противоречиво.

Гистограмма на рис. Рис 1.8 **б** раскрывает другой аспект индивидуального мышления природоведчески ориентированных школьников - распределение личных предпочтений по разным учебным секторам видоцентрической биологии и экологии в целом. Возрастающий по степени привлекательности ряд учебных предметов таков: систематика – 4 %, морфология организмов – 17, физиология – 22, генетика – 34 %. Из этого ряда выпадет родственная физиологии биохимия организмов (13%). Такое распределение можно понять: физиология выступает в учебниках в основном как наука о процессах, тогда как биохимия и молекулярная генетика представлены в средней школе больше статикой, а с регуляторной биохимической динамикой ассоциируются только ферменты. Низкая ценность экологии думающими школьниками на пороге МГУ (4%) может иметь несколько причин, но основная – ее последнее место и ложное освещение в искусственном учебном комплекте под названием “общая биология”.

Гистограмма на рис. 1.8 **в** построена как фронт биоэкологических учебных предметов рядом с физикой, химией, географией и математикой, которые являются базовыми по отношению к биогеоэкологическим знаниям. Группа гуманитарных учебных предметов дана в анкетах как культурологическая база человечества, необходимая и для наук о природе. Само же обществоведение занимает в мышлении группы продвинутых школьников последнее место, менее 5% . Таков уровень их **присутствия** в средней школе. Это именно *присутствие* – узкие, ничем органически не связанные ленты знаний, без цели болтающиеся на ветру и мало где применимые. Школьники это чувствуют, а чиновникам образования то ли невдомек, то ли все равно.

4. Что делать? ... в системе образования

Можно ли допустить, чтобы в быстро глобализующийся мир, с наполовину уже интегрированной мировой экономикой, финансами, транспортом (и т.д.) молодые, самые активные люди входили, имея в головах лоскуты разделенных между собой знаний, без интегративного образа земного мира? Не “мира вообще”, а совершенно конкретной и сравнительно небольшой его части – **обитаемой области Земли**, ее биосферы – с Украиной и Россией.

Можно ли? – вопрос бессмысленный. Все это давно совершается на наших глазах, а мы глаза прячем, друг от друга. Наук и учебных предметов о природе хватает, но ни одна из них в советчики-ответчики себя не предлагает, а науки о биосфере нет. Нет в Украине института проблем биосферы, нет (хотя бы) таких кафедр в университетах, нет таких учебников, а значит, нет и специалистов по обитаемой области Земли, или хотя бы нашей ее “частине”. Существуют в России и в Украине Советы по биосфере, но в основном мемориальные, как мавзолей Ленина: деловых вопросов по биосфере им не задашь, по биосферному образованию тоже.

Показанные выше данные о структуре знания молодых и активных людей содержат хотя бы ближайшие ориентиры к действию. Хорошо осведомленные люди в НАНУ и МОН потребность в биосферологии вероятно уже сознают. Но как тут поступать, когда в дефиците все – от средств на новые научные программы, до зарплаты (на котлеты, ботинки, а нередко даже на белые халаты и другие расходные материалы в лабораториях)? В такой ситуации реформа системы образования – самое доступное дело. Но центром реформы должен быть не компьютерный hard для школ, и тем более не “единый экзамен”. “Единый” проблем образования (а далее по цепочке) не решит, их лишь умножит. Из приведенных гистограмм с очевидностью следует, какого рода реформа природоведческого образования и в каком направлении необходима сегодня. Необходима **реформа базовых смыслов образования**, а прикладная цель государственного масштаба – противодействие кризису, по крайней мере, в его биогеоэкологической части. От общественных наук и их подсистемы образования естественно было бы ожидать встречных шагов в направлении к обитаемой области Земли в ее целостном виде.

Вопреки воплям о полном крахе культуры в обществе, гистограммы показывают нечто удивительное и очень обнадеживающее: у школьников с природоведческим строем в головах сидит явная потребность в духовных (литература, история, философия...) ценностях. Нам в Украине очень стоит прислушаться к мнению многих экспертов: **глобального кризиса обитания на Земле без коррекции духовной, моральной, этической составляющей индивидуального людского мышления нам не избежать**. Духовная составляющая, которую Главный Конструктор особенным образом сконцентрировал в “живом веществе”, и вечна, и вездесущна – **всюдна**, как писал Вернадский.

Самоосознание науки. Методология

Введение в тему

Подготавливая вторую тему, авторы *Школы* оказались в большом затруднении. Раздел знания, который условно может быть назван “общей методологией”, является частью философии (гносеология). Однако, философский тип мышления очень отличается от естественно-научного. Поэтому излагать основы научной методологии биологам, экологам, географам, геоморфологам, или геохимикам лучше всего не в понятиях и терминах философии, а на конкретных примерах из области естественных наук. В большинстве лекций этой *Школы* методологические задачи и инструменты в той и иной мере присутствуют и, когда это уместно, даются специальные пояснения. Наряду с этим введена отдельная тема о самосознании науки, поясняющая суть научной методологии и некоторые узловые вопросы, имеющие выход в земное природоведение.

Чтобы войти в тему, начнем с перечня внешне совершенно разных природных объектов. Дома, квартиры, комнаты – объекты сугубо людские, созданные руками людей и для них предназначенные. Пруды с лягушками, озера с рыбами и всем прочим, моря с их разнообразным населением так и принято называть – пруды, озера, моря. Стоит ли столь разные объекты “охватывать одним взглядом” и называть общим именем? Почти любой специалист (биолог ли, географ, строитель, рыбак, агроном и т.д.) со своей точки зрения может сказать, что такое сравнение бессмысленно. И он будет прав, не догадываясь, что такое сравнение очень полезно и даже необходимо с методологической точки зрения.

В XVIII веке, когда жил и работал Карл Линней по внешним признакам сравнивались чрезвычайно разные живые существа, но всем членам их множества дали одно общее название – “организмы”. В начале XX века, когда жил и работал В.И. Вернадский он, будучи биогеохимиком, дал совокупности организмов другое название – “живое вещество”. Биологи были этим обобщающим термином очень недовольны, не понимая, что в интересах своей науки Вернадский повторил методологический прием самих же биологов и поступил правильно. В начале XXI века, в условиях глобализации человечества и развития сложнейших процессов в биосфере и в человечестве, мир необходимо воспринимать как единое целое, сравнивать в обобщенных терминах все без исключения природные объекты. Мировая система образования, привыкшая к специализированным методологиям прошлого, к этому оказалась неготовой.

Окружающий нас мир настолько разнообразен и сложно устроен, что его приходится изучать по отдельным, более простым частям. Наука в целом пошла по пути специализации. В каждой специальности намечаются свои главные объекты. При их раздельном изучении выдвигаются разные *задачи*, создаются разные отражающие их *понятия*, выстраивается особая *логика рассуждений*, наконец, создаются *научные концепции, модели* объектов и процессов. Выделенные нами слова – это *методологические инструменты*. Если эти инструменты рассмотреть вместе, в их действии на том или ином объекте, то получится то, что методологи называют *познавательной процедурой*.

Нужно ли, однако, эти процедуры изучать природоведам, биологам и экологам? Возьмем любой случай из повседневной жизни. Допустим, надо вскопать участок для выращивания картошки. Берем *лопату*, смотрим, крепко ли держится *ручка*, укрепляем ее, *затачиваем* лопату *напильником* и *вонзаем* лопату в землю (можно перечислять и дальше, но это излишне). Все выделенные петитом слова – это понятия, описывающие орудия труда и действия по ходу работы. Это то, что в обыденной жизни называют *техникой и технологией*. Так вот, научная методология – это то же самое, но применительно к познанию. Иными словами, **научная методология – это совокупность технического инструментария и технологии познания мира. Как и работа лопатой на огороде, познавательная работа в науке должна быть оптимально, по определенным правилам организована.**

Сравним рыхление почвы в огороде и изучение жизни озера. Понятно, что при любой работе вырабатываются *оптимальные приемы*. При изучении озера можно глядеть в воду с берега, а можно выехать на лодке, имея на борту и в руках научные приборы. Но приборы могут оказаться плохо выполненными и работа обесцелится. При работе лопатой можно сломать рукоятку и натереть мозоли. **Хорошо разработанная научная методология указывает исследователю на возможные ошибочные действия и советует, как их исключить.**

Рыхление земли лопатой – пример узко специализированной технологии. Но для жизни узкого опыта мало. Надо уметь провести в дом электричество, приготовить обед и уметь делать множество других дел. Так вот, методология науки строится на основе сравнения самых разных научных задач и действий исследователей по их разрешению. Иными словами, **создавая общенаучную методологию*, наука обобщает действия целых поколений исследователей, вырабатывает логику познания природы, показывает объяснительные механизмы знания.**

С точки зрения методологии, людские дома с их обитателями, огороды и другие сельскохозяйственные угодья с работниками на них, гнезда с птицами и птенцами, пруды с их обитателями – все это методолог обязан сравнивать, выявлять сходства и различия этих объектов и на основе сходств структур и процессов рекомендовать общие приемы их изучения. Поскольку специализированные науки столь широких сравнений никогда делать не станут, понятно, сколь важна роль научной методологии. В условиях людской глобализации знание требует интегрального взгляда.

Можно ли, однако, изучать структуру и функцию организмов отдельно, морфологию без физиологии? Разумеется, можно, вопрос в другом: в каких случаях раздельное изучение полезно? Ответ на оба вопроса зависит от цели исследования. Например, если обобщенный (интегральный, системный) образ объекта не требуется, *абстрагировать* одно от другого вполне допустимо. В теме о методологии науки речь идет о важности абстрактных понятий (в физике – “идеальная пружина”, “идеальный газ”). В морфологии растений разработана целая группа модульных *архитектурных моделей*. В экологии и в других науках используют *блочные* модели самого разного типа.

Отметим и другое. Базовые природоведческие науки, биология, география и другие изучают процесс движения в разных его формах, а поэтому описывают его в удобных им специфических терминах: дождь, снегопад, камнепад, вращение, крово-

* *Восьмой Международный конгресс по логике, методологии и философии науки.* Abstracts. М.: Наука, 1987. – Т.1 – 5.

Проблемы методологии системного исследования. М.: Мысль, 1970. – 454 с.

Системные исследования. Методологические проблемы (Ежегодник, 1970. –1985). М.: Наука.

обращение, полет, плавание, и т.п. Все эти проявления специализированные науки описывают в разных единицах измерения, часто несравнимых между собой (тогда как сравнение полезно всегда). Присущие организмам формы движения биологи называют функциями. Это создает ложное впечатление, будто биологическое движение “принципиально” отличается от всех прочих и, как нередко говорят, к простым формам движения оно несводимо. Это методологическое заблуждение. Существует общенаучное (физическое) понимание функции как движения вещества, энергии, информации. Все биологические проявления могут быть выражены этих терминах и измерены в соответствующих единицах. Понятно, что использование интегративного описания процессов не отменяет и не обесценивает лексику специализированных наук и принятые в них понятия. В дальнейших лекциях Школы будут использоваться разные способы описания процессов, но с предпочтением к общенаучному.

Учебный курс по общенаучной методологии с соответствующими разработками применительно к земной природе следовало бы читать отдельно, с достаточной полнотой. Здесь же мы вынуждены ограничиться лишь самыми беглым и фрагментарными сведениями. Методология, как ее излагают философы для своих целей, наука весьма серьезная и уважаемая, но от, “простого научного народа” она (классик всегда прав), увы, очень далека.

Лекция 2.1. Методология. Объекты, понятия, образы и концепции

1. Научная методология
2. Рефлексия над наукой. Триада “объект-субъект-знание”
3. Вещественные объекты и абстрактные понятия
4. Специализированные и общенаучные понятия в природоведении

1. Научная методология

Наблюдая окружающий мир, люди видят и осознают прежде всего его отдельные части. Чаще всего это дискретные *вещественные объекты* – тела, имеющие относительно неизменный внешний вид с четкими контурами. При многократном наблюдении таких объектов создаются их типовые мысленные отображения – *невещественные понятия и образы*. Частные образы соединяются сознанием в более крупные и сложные. В результате последовательных наблюдений и синтеза образов формируется качественная модель объекта или явления (его мысленная “картина”). Сначала объект описывается вербально или с помощью условных знаков, означающих определенные объекты, как на географических картах. Затем присвоенные объектам качественные характеристики могут быть замещены символами (буквами разных алфавитов), а затем выражены численно. В таком случае принято говорить о *параметрическом подходе* к объекту. Всю совокупность действий между объектом и субъектом при участии научных понятий, образов, концепций, моделей будем называть *познавательной деятельностью*.

Познавательная деятельность первоначально складывается неосознанно, стихийным образом, путем произвольных, заведомо не оптимальных мыслительных шагов, умозаключений, в том числе и ошибочных. По мере накопления опыта, вырабатываются типовые и оптимальные мыслительные операции и решения, пригодные в разных задачах и ситуациях. Совокупность оптимальных, логически корректных познавательных приемов назовем *научной методологией*. Иными словами, это типовые правила научного познания, его технология.

Технология научного познания имеет многоуровневую структуру. Ее *высший уровень* занимает философия. В ней излагаются общие принципы отражения мира в сознании и базовый категориальный строй в целом. *Второй уровень* методологии можно обозначить как область общенаучных операционных принципов и форм исследования. Именно с ним ассоциируется понимание методологии как мощного межнаучного инструмента. Хрестоматийным примером методологии второго уровня служит понятийный аппарат кибернетики и теории связи. Не обязательно, чтобы частные правила кибернетики были приложимы во всех других науках. Но обязательно, чтобы методология такого типа была безразлична к сугубой конкретике, специфике изучаемых объектов. Например, не важно, выглядят ли линия связи как цепочка из радиодеталей или из нейронов; но важно, чтобы по цепи передавалась информация и именно ее передачу рассматривает методология второго уровня. *Третий уровень* составляет методология специализированных наук, содержащая операционные правила для того или иного типа объектов, например организмов. Сюда входят общие требо-

вания при описании отдельно растений, животных, или бактерий, а специфические черты в каждой из этих групп во внимание не принимаются. К третьему уровню относятся также общие операционно-познавательные правила применимые, например, в рыбоводстве и овцеводстве. Таковы общие правила вычисления пищевого рациона по калорийности пищи. Не важно, что тело рыбы покрыто чешуей, а тело овцы – шерстью; в обоих случаях принципы составления рациона питания одинаковы. Наконец, *низший методологический уровень* включает в себе специфические правила и приемы, например, при измерении pH в почве и отдельно при измерении температуры кипения жидкостей и т.п.

Гораздо сложнее методы междисциплинарных разделов науки XXI века. При решении междисциплинарных задач требуется понимание и использование *общенаучной методологии*. В качестве примера в лекциях будут рассмотрены методы, основанные на явлении парамагнитного резонанса (томография). Томография открывает широкие возможности для биофизического изучения систем растительного и животного происхождения, разного типа, размера, сложности и уровня организации (клетки разными с органеллами, ткани с разными типами клеток, сложные и крупнее организмы с разнофункциональными органами и многое другое).

Вернемся, однако, к методологии второго уровня. Одна из ее важных функций состоит в обеспечении корректной постановки научных задач. В наиболее общей и явной форме методологические функции выполняет математика. Например, множества – тип объектов, присущий любому классу природных тел. Математические правила работы с множествами одинаково применимы к физическим, химическим, биологическим и другим группам тел и или их условных обозначений (в последующих лекциях множества разного типа и примеры работы с ними будут приведены). Другой известный пример – системная методология, инициированная в середине XX века Людвигом Берталланфи первоначально по отношению к биологии. Постепенно она получила широчайшее распространение в самых разных отраслях знания и прикладной деятельности (примеры будут обсуждаться в последующих лекциях).

Как самостоятельная отрасль знания, методология стала осознанно и интенсивно формироваться во второй половине XX века, когда накопленный разными науками опыт стал сравниваться и обобщаться, и стали изучаться природные объекты очень большой сложности (косное тело Земли в целом, экосистемы, биосфера).

2. Рефлексия над наукой. Триада “объект-субъект-знание”

По мере своего исторического развития рефлексия над наукой, т.е. ее самосознание, существенно изменялось, принимая разные формы. На протяжении ранней истории знания мышление было направлено в основном на *объект познания* и на отношения между исследователем и объектом (так называемая “онтологическая рефлексия”). Сам исследователь – *субъект познания* рассматривался лишь как безразличный участник отношений. Иными словами, предполагалось, что биологическая специфика человека на результат исследования, т.е. на содержание полученного знания, его структуру и тематические пропорции никак не влияет. Этот постулат лежал в основе убеждения, что знание дает безусловно *объективную истину*.

Примерно с середины XIX века постулат о безусловной объективности науки стал рушиться. Появление телескопа и микроскопа радикально увеличило диапазон сенсорных возможностей исследователя, что показало ошибочность некоторых предшествующих представлений о мире. Было понято и другое: не только физические приборы, но и невещественные познавательные инструменты и процедуры, ло-

гика исследователя, объем его собственных знаний существенным образом влияют на результат научной деятельности, на состав и структурные пропорции знания.

Осознание важности свойств не только изучаемого объекта, но и самого исследователя было одним из крупнейших методологических открытий в истории науки. Пришлось признать не только право науки на отдельные ошибочные суждения, но гораздо более того – неизбежную неточность, неполноту любой создаваемой Картины Мира: знание неизбежно было неполным в ранних моделях природы и медленно расширялась по мере выработки инструментов познания и личных умений исследователя.

Выдающуюся роль в этом методологическом открытии принадлежит Иммануилу Канту. Вот как профессиональные методологи описывают это событие: “Кант сделал важнейший шаг к пониманию зависимости познания не только от его объекта, но от наличных мыслительных форм. Отсюда, в частности, вытекало, что познание не может трактоваться как простое отражение действительности без учета конструктивной работы самого мышления, создающего формы познавательного процесса. Этот тезис и по сей день составляет основу любой серьезной методологии научного познания..... Диалектика немецкого идеализма была сильна, прежде всего, критикой существующих форм научного мышления, их элементаристски-механистической ограниченности” (Блауберг, Юдин, 1969, с 7).

Описанное выше методологическое открытие означает важную достройку общей познавательной формулы. Сначала формула познания представляла собой диадой с прямой связью,

$$\text{“объект} \rightarrow \text{знание“}. \quad (1)$$

Затем она сменилась триадой с такой же односторонней (от объекта к субъекту) связью:

$$\text{“объект} \rightarrow \text{субъект} \rightarrow \text{знание“}. \quad (2)$$

Следующая достройка этой формулы состояла в том, что познание, казавшееся процессом односторонним, т.е. передачей информации только от объекта к знанию, сменился пониманием прямых и возвратных информационных обменов между участниками процесса. В результате, к концу XX века общая формула познания приняла более полный вид:

$$\text{“объект} \overset{\rightarrow}{\rightleftharpoons} \text{субъект} \overset{\rightarrow}{\rightleftharpoons} \text{знание“}. \quad (3)$$

Обратная связь в познавательной формуле отражает тот кардинальный факт, что имеющаяся у исследователя сумма знаний существенно влияет на все его научное поведение. Действительно, опыт науки показывает, что информация, поступающая от объекта к субъекту существенно зависит от правильной постановки задачи исследования. Однако для этого у исследователя должен быть некоторый запас накопленных ранее научных знаний, которые он вкладывает в постановку задачи. Без необходимого запаса знаний, т.е. без обратной связи в познавательной системе, задача исследования не может быть правильно поставлена и искомая “Картина мира” окажется в той или иной мере искаженной.

Поясним работу формулы (3) на примере из истории биологии и экологии. “Картина жизни” в отображении биологов основана на знании трех объектов – особи, вида, и сообщества, состоящего из разных видов. Косное вещество в эту картину не входит по определению жизни. Экология же в своей эволюции переступила границу

биологии, включив в число своих объектов косное вещество Земли. В экологии “Картина мира жизни” расширилась, включив надтелесные обитаемые объекты – экосистемы (Био вместе с Гео). Понятно, что сведения о косном веществе Земли современным биологам были известны, но включить их в формулу (3) они не могли в силу ими же заданного определения жизни как “формы существования организмов, белковых тел”. В современной экологии высшим объектом жизни была признана биосфера Земли. Экология XXI века методологически опирается на формулу (3), вступая в попеременные отношения со своими объектами: от Био к Гео и от Гео к Био. Биологическое мышление – это аналогичные отношения в пределах Био. В своих собственных границах биологическое знание ничем не хуже экологического. Однако, следует понимать, что методологические принципы организмо- и виоцентризма в экологии неприемлемы.

3. Вещественные объекты и абстрактные понятия

До начала второй половины XX века понятие “научная методология” даже в серьезной научной литературе встречалось редко, а в биологии так и вовсе считалось средством сугубо философским, в биологии излишним. Принято было думать, что никаких особых мыслительных приемов, логически корректных правил в отношениях между исследователем и объектом, которые необходимо соблюдать в любой отрасли знания, будь то в биологии, географии, физике, химии и т.д., быть не может. Полагали, что каждый исследователь сам знает, или интуитивно чувствует, как построить исследование и никакие “познавательные формулы” при этом не нужны. Такая убежденность не приводила к серьезным научным ошибкам до тех пор, пока изучались объекты заведомо простые или когда в сложном объекте можно было выделять отдельные относительно простые части или аспекты жизни (не посягая на знание сложного объекта в целом). В биологии убеждение в полной свободе познавательных действий человека долго оставалось типичным.

Во второй половине XX века наука и ее главные прикладные ветви – техника и технологии стали обращаться к изучению и использованию крупных и сложных природных объектов (как региональные экосистемы) и технических устройств все большей и большей сложности (например, сложных автоматов). Интуитивные правила для познания таких объектов и конструирования их прикладных аналогов оказались недостаточными. В науках, накопивших опыт работы со сложно организованными, многосвязными объектами (их все чаще стали называть “системами”) постепенно вырабатывались универсальные методологические правила. Ниже будут рассмотрены некоторые характерные для биологии и экологии познавательные ситуации.

Напомним сначала общеизвестную истину: изучая реальные земные объекты и даже имея их непосредственно перед глазами, исследователь первоначально знает о них очень мало, или не знает ничего. Поэтому, на основании внешнего вида (а чаще всего – лишь небольшой его части, доступной зрению) создается предполагаемый мысленный образ объекта, его первичная *модель*. Образу, модели исследователь присваивает то или иное типовое название и вводит опознавательные научные термины широкого значения: это “птица”, это “озеро”, а это “человек” (не уточняя расы, национальности и т.д.). Названия присваиваются и научным образам (таково понятие “система”; внешнего вида, массы, объема, цвета этот мысленный образ не имеет). И... начинается игра с терминами, а за ней – научная и учебная неразбериха и путаница.

Вот несколько примеров путаницы. В учебниках по биологии (и не только) обычно пишут коротко: «*существуют* системы замкнутые, закрытые и открытые» Или еще: «*существуют* системы стохастические и детерминистские». Встречаются в учебниках и такие понятия, как «идеальная пружина» и «идеально черное тело», «идеальный маятник», «идеальный газ». Мысленно можно представить себе даже «идеального исследователя». На самом же деле, таких пружин, маятников и исследователей на реальной Земле *не существует*. Это всего лишь условные обозначения, абстрактные образы. Представители наук, не имеющих методологического опыта принимают написанное в учебнике слово «существуют» как надежный знак того, что какие то реальные природные объекты являются открытыми, какие то – закрытыми (т.е. без обмена с окружающим пространством), а какие то относятся к вероятностным (в качестве примера нередко приводят сообщества), а какие то – детерминированными (часто упоминают часы с пружиной). Все это – типичные примеры ошибочного отождествления научных понятий и реально существующих вещественных объектов. «Открытость» или «стохастичность» это всего лишь абстрагированные от реальности свойства всех живых и обитаемых объектов; названные свойства в реальных объектах природы всегда *присутствуют одновременно, но в том или ином соотношении*. Например, биосфера как единой целое по важнейшему для жизни химическому элементу – углероду закрыта на 99.9999%, а на оставшиеся ничтожные доли % является системой открытой. Некая региональная экосистема может быть открытой по воде на 90% , по углероду на 70%, а по азоту или фосфору на 40% (оценки условны). Одно из довольно распространенных в природоведении XX веке заблуждений состоит в том, что процессы обратимые и необратимые в реальных земных объектах могут встречаться отдельно одно от другого. На самом же деле в жизни на Земле они сопутствуют один другому, но их долевое участие в жизни соответствующих объектов всегда бывает разным.

Понятие «система» в этой *Школе* встречается постоянно. Оно будет разъясняться постепенно, на разных конкретных примерах. Здесь нам достаточно сказать, что в реальном земном мире объектов «идеально системных» и «идеально несистемных» не существует. Всегда можно говорить о той или иной *степени системности*; однако, ее общепринятой численной оценки пока не найдено. Чтобы подкрепить понимание такой ситуации, сравним две композиции, которые можно иметь в реальности. Это пара «кошка и мышка». Кошка и мышка находятся между собой в известных пищевых и поведенческих отношениях, которые являются для этой пары *системными*. Возьмем теперь другую пару объектов – «курицу и мышку». Пищевых или иных жизненно важных отношений в этой паре нет; значит объект «курица-мышка» искусственный, *по этому признаку несистемный*.

Заметим также, что понятие «система» предполагает наличие некоторого пространства ограниченного, т.е. *конечного* объема. Вследствие этого в системологии появился ряд дополнительных понятий: «внешняя граница» объекта, его «граничная поверхность», а также понятие «граничные условия». Если же природный объект не имеет внешних границ, это значит, что он бесконечен, неизмерим и главных численных оценок, свойственных вещественным земным объектам иметь не может. Таково понятие «среда обитания» – без массы, размера в длину, в ширину, без определенной геометрической формы, без геометрического объема и внешней формы. Если бы организм был таким, можно ли было его изучать? Изучать невозможно; не было бы и науки о таких «организмах». Иное дело, что в бесконечной «внешней среде» всегда можно различить отдельные объекты, имеющие четкие границы, контуры, объемы. Это, например, острова, озера, моря, континенты и т.п. Средой обитания их не называют. Это целостные, системные объекты. В озере средой обитания рыб является вода, а средой обитания анаэробных бактерий – глубоководный ил.

4. Специализированные и общенаучные понятия в природоведении

Можно ли изучать структуру и функцию организмов и им подобных отдельно одно от другого? В интуитивном людском сознании понятия “структура” (зримые части тела) и “функция” (незримое движение крови по сосудам или передача сигнала по нейронным цепям) были неразделимы. Организм воспринимался как неделимая сущность. Сознание более высокого уровня стало их разделять, но понимание скрытых от глаз функций всегда от понимания зримых структур отставало. Поэтому в познавательных моделях природы концептуальный синтез структур и функций всегда задерживался. В физиологии, а отчасти и в биохимии XX века изучение функций организмов отражало их различия в разных типах клеток, тканей органов, за пределы живых тел (в надтелесные биокосные системы) не выходя. В концепции Геи ее адепты заговорили о ее (Земли), “физиологии”. Это философская идея без научных оснований. В такой же мере нет оснований говорить о “физиологии сообществ” (понятие, нередко употребляемое). Термин “физиология” неотрывен от чисто биологического понимания функции. Переносить его в другие науки методологически неуместно.

Существует также общенаучное (физическое) понимание функции как движения вещества, энергии, информации. Понятые так функции присущи всем биокосным системам, поскольку три эти формы динамики проявляются во всех природных объектах. Имеет ли косная Земля и ее отдельные части свои функции? В общенаучном смысле она их несомненно имеет. Это вращение самой Земли, это исторически медленное движение ее континентальных плит, постепенное изменение границ, форм, объема океанов, морей, течения рек. Это движение воздушных и морских течений, волнение или мелкая быстротечная рябь на поверхности озер и рек и многое другое. Биолог с традиционным мышлением (не значит, что с отсталым, а просто с узким) сказал бы: “все это не функции, а что то другое”. В биологии так утверждать можно, но не более того.

Использование общенаучного описания процессов не отменяет и не обесценивает лексику специализированных наук. В дальнейших лекциях *Школы* будут использоваться разные способы описания процессов, но с предпочтением к общенаучному языку.

Лекция 2.2. Сравнения, масштабы, типовые задачи и модели

1. Сравнение объектов, оценка сходств и различий
2. Масштабы
3. Аналогии и типовые задачи. Методологические инструменты разной зрелости
4. Сравнение частных концептуальных моделей в биологии и экологии

В любом учебнике биологии сообщается, что одним из её главных творческих приемов, приведших её к величайшим открытиям, был и остается “сравнительный метод”. Это всегда особенно подчеркивается, как повод указать на специфику этой науки. Повод гордится широким сравнением организмов от бактерий до китов и слонов у биологии действительно есть. Однако, с методологической точки зрения следует заметить: это не частный метод биологии, и даже вообще не *метод*, а общенаучный *методологический инструмент* (гораздо важнее, чем просто метод). В математике сравниваются числа, разные геометрические фигуры и многое другое; в астрономии сравниваются космические объекты разного типа, строения, происхождения, в лингвистике – значения слов и много другое. И так в каждой науке.

На этом фоне накопленный за столетия опыт сравнений в биологии *сравнительно* невелик. Но это не упрек биологии. Качественное сравнение организмов позволило ей сформулировать свои основные задачи, выдвинуть гипотезы, а впоследствии, проверив их, предложить системе образования “законы живой природы”. Таковы нормальные методологические следствия любых широких сравнений. Но чем они шире, тем больше дают. Огромный методологический опыт разных наук убеждает в том, что, выявляя и сравнивая сходства объектов и явлений, структур и функций, желательно сразу же замечать и различия. И не только замечать то и другое, а еще и *численно оценивать сходства и различия*.

1. Сравнение объектов, оценка сходств и различий

В биологии сравнение было направлено главным образом на выявление *различий* организмов. Между тем, в целом ряде точных наук различия и сходства рассматриваются совместно, как взаимодополняющие стороны любого тела или процесса (чем больше сходство, тем меньше различие и наоборот). Поэтому задачу о сходстве и различии лучше формулировать так: каково *соотношение сходств и различий*? Сравнить можно людей разного возраста или индивидуальной массы. По одним и тем же характеристикам можно сравнивать разные моря, разные острова, или треугольники разного размера (как в геометрии). Независимо от длины рядов такая задача имеет общие и частные математические решения разной сложности, позволяющие с помощью безразмерных коэффициентов, оценивать степень сходства-различия любых объектов по двум или нескольким численным характеристикам. Биологи прошлых веков не могли пользоваться такими методами, поскольку виды организмов различаются сразу по очень многим признакам, в основном качественным, не измеряемым. Поэтому, сравнивая, например, рыб и людей справедливо утверждали что они “очень различны”, а *в какой мере различны*, не знали. Между тем, по любой паре

измеримых параметров рыб и людей оценить их сходство-различие вполне возможно, как и различие-подобие треугольников.

Рыбы и люди, куры и озера, незабудки и скалистые острова имеют достаточно много общих измеряемых параметров. Это масса тела, его длина, высота, скорость движения крови в сосудах, скорость полета птиц и самолетов в небе и т.п. На рис. 2.1 на абсциссе графика отложена характерная протяжённость (L) разных природных и рукотворных объектов, а на ординате – скорость их движения (U). В следующем разделе поясним, где здесь обещанная мера сходства-различия. В последующих же лекциях соотношения такого типа будут обсуждаться на разных примерах и подробнее. Тогда же будут сделаны и выводы, относящиеся к оценкам сходства-различия у разных природных объектов по *отдельным парным параметрам*.

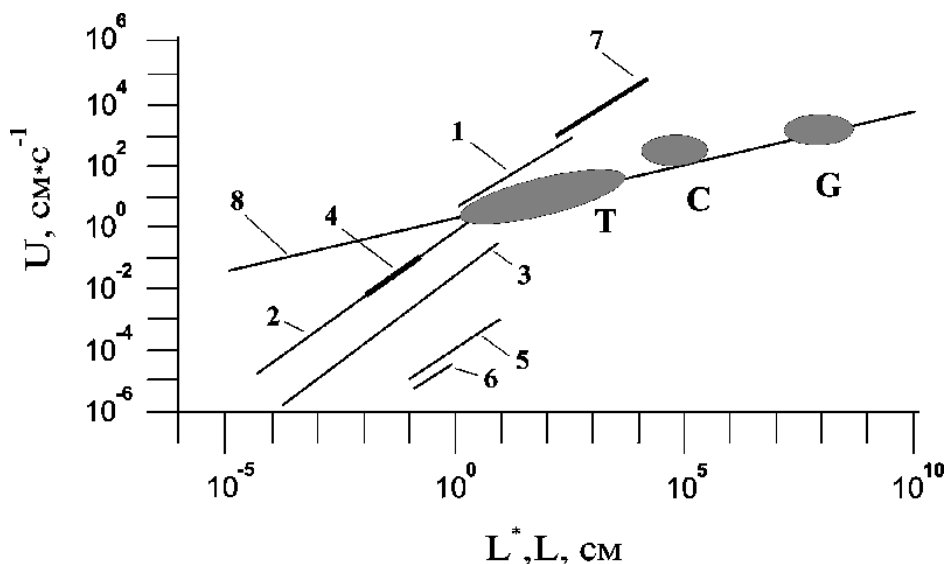


Рис. 2.1. Соотношение скорости массопереноса (U) и характерных длин (L^* и L) в различных косных и биокосных системах. 1 – движение рыб разных видов, по (Комаров, 1976); 2 – активное движение планктонных водорослей и зоопланктеров, по: (Павлова, 1987); 3 – пассивное погружение трупов планктонных организмов, по (Лисицын, 1983); 4 – движение крови в кровеносных сосудах собаки, по (Власов, Окунева, 1985); 5 – движение воды в толще стебля растений (Хайлов и др., 1995); 6 – молекулярный перенос кислорода в теле мидий при дыхании (Турпаева и др., 1970) с нашими дополнительными расчетами; 7 – движение объектов антропогенного происхождения – автомобилей и самолетов; 8 – линия, обобщающая атмосферную турбулентность (Т), конвективные потоки (С) и общую циркуляцию атмосферы (G), по О.И. Мамаеву (1995).

2. Масштабы

Каждая наука стремится передать в свою учебно-образовательную сферу компактный образ всей совокупности изучаемых объектов. В биологии интегральным образом живого мира служит филетическое древо видов. Задачи экологии значительно шире. Общий ряд её объектов составляет около 40 порядков величин по индивидуальному объёму массе тела – от 10^{-22} до 10^{18} м^3 . Поэтому модель филетического древа экологии не подходит. Обычно в экологии используются графические модели размерных рядов разной протяжённости, в которых на абсциссе откладыва-

ются базовые (общенаучные) характеристики членов ряда. Это может быть индивидуальная масса тела, геометрический объем, площадь поверхности и др. На ординате же откладываются значения любых интересующих исследователя характеристик объектов. Но вот задача: как разместить на абсциссе ряд, протяжённостью в 40 порядков?

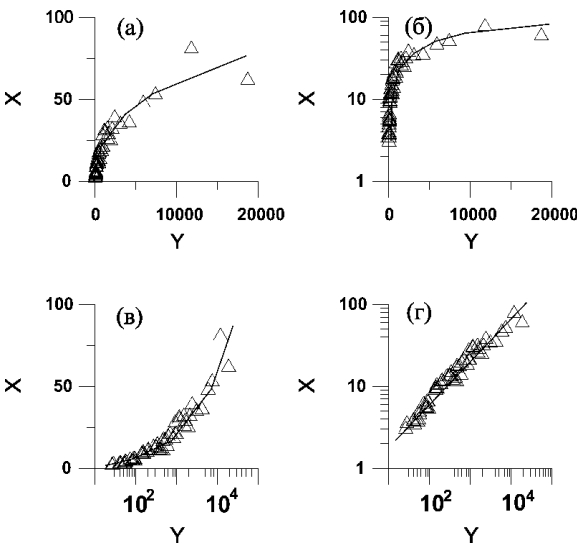


Рис. 2.2. Отображение размерных рядов объектов в разных масштабах. Пояснения в тексте.

Очень длинные ряды требуют логарифмического масштаба. Если ряд охватывает несколько порядков величин, то в арифметической метрике точки плотно сосредотачиваются, “сбиваются” в левой части графика и плохо обозримы (рис. 2.2 *а*). В полулогарифмической метрике (log по ординате – рис. 2.2 *б* и log по абсциссе – рис. 2.2 *в*) точки-объекты рассредоточены и лучше обозримы. На рис. 2.2 *г* те же самые данные показаны в двойных логарифмических координатах. В этих координатах кривая приводится к линейному виду и данные наиболее обозримы. В нашем случае различие величин по абсциссе укладывается в 5 порядков. В таких и в более обширных рядах без логарифмической метрики обойтись невозможно.

Приведение кривой к линейному виду позволяет описывать зависимости X от Y в форме уравнения:

$$X = a Y^b \tag{1}$$

Логарифмическим координатам на графике более соответствует запись уравнения в другой форме:

$$\log X = \log a + b \log Y \tag{2}$$

Значения коэффициента *b* могут быть больше и меньше 1. При *b* = 1 угол наклона линии к абсциссе равен 45°; при *b* < 1 угол меньше 45° (в арифметической метрике это нисходящая кривая) а при *b* > 1 угол больше 45° (восходящая кривая). Этот методологический прием будет использоваться в лекциях часто, и по мере необходимости объяснения будут дополняться. Главное, что необходимо сказать здесь, это что

значения коэффициента b в (1) и (2) являются *оценкой различия-подобия* сравниваемых объектов, будь это организмы, их отдельные органы, разные экосистемы – наземные, водные, природные, рукотворные. Такая процедура сравнения объектов представляет собой типичный пример методологического инструмента третьего уровня.

Логарифмическое преобразование кривизны в линейность открывает при изучении природы гораздо более широкие и важные возможности, чем было показано выше. Наше зрение построено так, что мы видим мир в перспективе: если перед нами, под некоторым углом к оси зрения выстроен ряд одинаковых по размеру объектов, то по мере удаления от наблюдателя их размер уменьшается, самые дальние глазом вообще не различаются. Вывод прост и для исследователя огорчителен: зрение нас обманывает. Мир вокруг нас громаден (об этом сообщают другие исследователи), а мы видим малую его часть.

3. Аналогии и типовые задачи. Методологические инструменты разной зрелости

Известное общее свойство человеческого характера – подчеркивать собственную самобытность, уникальность, особенность. То же и среди наук в лице их представителей. Биологи вплоть до конца XX века, и едва ли не чаще других специалистов, подчеркивали особую специфику, уникальность живых организмов и жизни в целом. Специалисты же из других отраслей знания неоднократно указывали биологам на сходство биологических и небιологических (из косного мира) объектов и явлений. Хрестоматийный пример – внешняя похожесть ветвящегося растения и ветвящегося морозного узора на стекле. Биологи на это отвечали, что сравнение живого дерева и ледяного узора – методологически порочно, их сходство никакого отношения к науке не имеет.

Однако аналогии продолжали накапливаться и многие из них успешно решались: на строго научной основе выявлялась определённая мера подобия явлений при ряде несомненных различий. Примеров ветвления в живом мире достаточно много. Ветвится внешняя форма низших и высших растений. На несколько иной манер ветвятся проводящие трубки, сосудистые пучки высших растений, ветвление структур свойственно легким и другим органам тела.

Немало примеров ветвления структур дают науки о Земле. Ветвятся притоками реки, трещины в горных породах. Ветвятся молнии. Тонкая структура облака тоже включает в себя феномен ветвления. Естественно, что появляются исследователи, замечая сходства такого рода и начинающие их серьезно изучать в сравнительном плане, на основе объективных численных методов. А затем в научной печати появляются книги с таким, например, названием: “Общие законы ветвления в природе”. Наконец, был сделан и обобщающий вывод: в основе многих геометрических сходств, наблюдаемых в косной и живой природе, лежат свойства геометрических структур, получивших название “фракталов”. Современный французский математик Бенуа Мандельброт (2002) написал об этом широчайшем классе объектов с большой научной глубиной и вместе с тем, с виртуозной легкостью. Его книга называется: “Фрактальная геометрия природы”.

Накопленный к началу XXI мировой методологический опыт позволяет утверждать, что понятие “аналогия” – это методологический инструмент, характерный для начальных этапов изучения природы. На более поздних этапах оно замещается более определенным, имеющим численную меру понятием “подобие”. Там где наблюдаются аналогичные или подобные явления, можно говорить о типовых научных

задачах и, соответственно, об их типовых решениях. В последующих лекциях разные примеры будут приведены и объяснены.

4. Сравнение частных концептуальных моделей в биологии и экологии

Научное знание и образование, а точнее обширное семейство научных дисциплин и учебных предметов – это большая, иерархически организованная информационная система, отдельные “файлы” которой размещены на поверхности разных вещественных носителей – книжной и газетной бумаге, пластмассовых лентах, дисках и т.д. Как и все сложные системы, знание растёт, развивается, увеличивая свое внутреннее разнообразие. Как и разные вещественные объекты, совокупность специализированных знаний становятся объектом исследования группы служебных наук о науках – науковедения, наукометрии, методологии и других. Науки и их исследовательский инвентарь подлежат сравнению в разных плоскостях, в том числе и в концептуальной.

Сравним наиболее известные концептуальные модели в биологии и в экологии. Попутно укажем на те аспекты познавательной деятельности, которые принято называть методологическими.

(а). *Концепция биологического вида**, как совокупности таксономических признаков. Она служит, прежде всего, для указания места (адреса) данного живого тела в общем массиве видов. Для понимания собственно жизни, т.е. функциональных проявлений организмов, эта концепция даёт очень мало. Понимание жизни (безотносительно к видовой принадлежности организма) даёт другая научная модель – концепция клетки как совокупности разнофункциональных органелл и многоклеточной особи, как совокупности разнофункциональных клеток, тканей и органов.

“Таксономическими признаками” обычно называют специфические особенности внешней формы организма (округлый, вытянутый, конусообразный), особенности внешних контуров (мелко зубчатый, крупно зубчатый, рассечённый и т.п.), цвета, оттенки, узорные рисунки на поверхности тела, кожи, фактура поверхности (бородавчатая, складчатая, опушённая) и т.п. К видовым признакам относятся также некоторые мерные характеристики, выражаемые вербально (широкий, длинный, продолговатый и т.п.). Существует также группа анатомически выраженных “функциональных признаков” (тот или иной тип кровообращения, отличительные особенности в строении хватательных и жевательных органов и т.д.). Наконец, опознавательным признаком больших таксонов может служить тип метаболизма и питания (автотрофы, гетеротрофы, хемотрофы, фитофаги, детритофаги, осмотротрофы).

Это несколько затянувшееся перечисление позволяет подчеркнуть: а) нескончаемость перечня признаков каждого отдельно взятого вида и б) существенно разную “цену”, “содержательный вес” разных признаков. Понятно, что особенности строения жевательных органов гораздо менее значимы, чем различия между автотрофами и гетеротрофами. Однако, объектной меры для оценки сравнительной важности разных “признаков”, биологи не выработали. Нередко все “признаки” складываются в одну общую корзину под названием “биологическое разнообразие”. Пользы от такой корзины мало.

В методологии науки соединение в одну группу, категорию, совершенно разных сущностей (как зубчатость листа, его рассечённость или компактность, цвет

* В современной литературе концептуальным вопросам систематики посвящена глубоко содержательная, историко-научная книга, собрание работ А.К. Сковцова: Проблемы эволюции и теоретические вопросы систематики. 2005. Москва, КМК, 292 с.

кожи, листа, цветка, опушенность покровов, способность поглощать углекислоту и выделять кислород и т.д.) считается некорректным, неправомерным. В мире физических тел легко было бы составить “определители“, построенные по тому же принципу. Например, можно было бы сформировать торговый “таксон” *кухонная посуда*. Такой “таксон” можно было бы разделить на ряд “видов” посуды. Можно было бы дать такую “видовую” характеристику кастрюли: “металлическая, имеет форму закрытого с одной стороны цилиндра с диаметром примерно равным его высоте, покрыта жаростойкой эмалью, имеет на стенках две ручки, закрывается крышкой с выступом в форме груши для удобства захвата пальцами; кастрюля выдерживает нагрев до 200 градусов”. Ни в физике твердых тел, ни даже в торговле такие классификационные схемы не используются за отсутствием смысла.

Характерно, что в таксономической модели живой природы численные характеристики организмов применяются лишь в редких случаях. Для опознания биологических видов не требуется точных сведений о высоте растений, диаметре междоузлий, длине и количестве листьев, соцветий, цветков и т.п., тогда как для физических, химических, технических объектов (не менее разнообразных, чем растения) численные характеристики используются постоянно и являются главными.

Тот факт, что таксономическая модель биологического вида не удовлетворяет методологическим стандартам точных наук (бесконечность перечня признаков и их объединение по разным основаниям) отнюдь не ведет к выводу об её непригодности. Напротив, она превосходно выполняет свою опознавательную роль в биологии и в этой роли критике не подлежит. Здесь мы обсуждали чисто методологический вопрос: являются ли понятия, образуемые из разных сущностей, по разным основаниям *универсальным методологическим инструментом*? Нет, не являются.

С методологической точки зрения гораздо более важно, что любой реально существующий биологический вид состоит из особей разного размера (по высоте, индивидуальной массе, количеству побегов, междоузлий, цветков, листьев и т.д.), имеет индивидуальные биохимические различия (например, по общему содержанию белков, жиров, углеводов), различия физиологические и другие. По любой численной характеристике любое множество объектов может быть разложено в ряд. Известно, что так называемые “размерные ряды” организмов и других тел имеют собственные групповые свойства; в любой науке они считаются важными, и каждый раз интерпретируются. Сопоставление разных размерных рядов дает также ценную сравнительную информацию (примеры будут обсуждаться в последующих лекциях).

(б). *Концепция биологического вида, как совокупности генетически связанных между собой, реально взаимодействующих особей.* В биологии неоднократно поднимался и обсуждался вопрос: является ли биологический вид реальным вещественным объектом живой природы, или это лишь таксономическая единица, абстрактное понятие? Посвященная этой дискуссии научная литература очень обширна, поскольку понимание биологического вида как реальной природной системы лежит основе классических и современных представлений об эволюции мира организмов. Историю этой дискуссии опустим. В рамках лекции важен методологический вопрос: относится ли биологический вид к тому типу реальных природных множеств, к которым относятся другие базовые природные множества – живая клетка (множество взаимодействующих между собой органелл) и биосфера (множество взаимодействующих между собой био-гео-химических структур)?

Главным, системообразующим свойством, доказывающим реальное существование и целостность биологического вида, является скрещиваемость между собой особей данной видовой группы. До появления в науке генетических представлений возможность скрещивания особей в пределах вида (при нескрещиваемости особей разных видов) была простым эмпирическим фактом. Однако для утверждения о це-

лостности вида этот факт был недостаточен. Первоначальный вклад в доказательство реальности вида внес ботаник и генетик Н.И. Вавилов (вспомним его учение о центрах происхождения злаков и о гомологических рядах растений). С появлением генетики популяций был детально изучен обмен генетическим материалом в локальных генетических популяциях и в пределах вида. Было показано наличие общего генного пула скрещивающихся особей, дрейфа генов и других процессов в генетических популяциях. Тем самым природная реальность биологических видов была научно доказана.

(в). Концепция “окружающей среды” (“среды обитания”, “внешней среды”). Во всех природоведческих учебниках и справочниках окружающая среда определяется как совокупность внешних факторов – абиотических и биотических. Возьмем перечень “факторов” из государственного учебника по общей биологии для общеобразовательных школ Украины (Кучеренко и др., 2001): “Абиотические факторы – это компоненты и свойства неживой природы, прямо, или опосредованно влияющие на отдельные организмы или их сообщества (температура, влажность, газовый состав атмосферы, солевой состав воды и т.д.)”. К этому списку можно добавить всё что угодно. Солнце, как и Луна, несомненно, входят в число “абиотических факторов окружающей среды”. В таком случае, в её (окружающей среды) состав входит и весь остальной космос. Из дальнего космоса на Землю прилетают крупные метеориты, так или иначе, воздействуя на жизнь. Один из крупнейших метеоритов, возможно, стал глобальным экологическим фактором – привел к вымиранию динозавров и гибели множества других видов и сообществ.

Существует несколько общенаучных и методологических условий, соблюдение которых обязательно для любого научного исследования. Одно из таких условий – требование *конечности* любых объектов, по крайней мере, в пределах наблюдаемой нами части мира (неопределённость внешних границ объекта при решении задач в точных науках требует введения некоторых обязательных условий исследования). Очевидно, что “внешняя среда” без границ – объект искусственный, требованиям современной методологии не удовлетворяющий. Отсюда отнюдь не следует, что группа понятий со словом “среда” является вообще ненаучной. “Среда обитания” и родственные ей понятия выполняют важную ориентирующую, но не концептуальную функцию во всей группе природоведческих наук и обойтись без них невозможно.

* * *

Понятно, что рассмотренные выше методологические узлы позволили обсудить лишь малую долю примеров важной, а часто и решающей роли методологии как одного из необходимых в начале XXI века инструментов научного процесса. В донучный период интуитивное восприятие мира никакой методологии не требовало, поскольку мир сознанием не расчленялся, ощущался целостно. Аналитическая наука стала “разрезать” целостный мир в разных плоскостях, удачно или неудачно. Неудачно проведённые “разрезы” (и отвечающие им научные образы) приводят к тому, что целостное отображение сложного объекта “не складывается”, между разными частями знания возникают противоречия. В биологии и экологии таких противоречий (признаков того, что методология, не соответствовала объекту) до сих пор существует немало. Об этом в лекциях речь пойдет не один раз.

К сожалению, приходится констатировать, что понятие “научная методология” в природоведческих учебниках упоминается редко, вскользь, а её смысл и роль должным образом не разъясняются. Это приводит к целому ряду засоряющих учебники слабых и вовсе неверных представлений и интерпретаций.

Лекция 2.3. Дисперсия и тренды. “Морфологическая периферия” на идеальных геометрических фигурах

1. Сравнительное значение формы объекта для биолога и эколога.
2. Дисперсии, тренды и морфологический шум на идеальных геометрических фигурах

1. Сравнительное значение формы объекта для биолога и эколога.

Знаменитого шведского физика и натуралиста Карла Линнея заслуженно называют одним из основателей научной биологии того периода, когда она была не столько биологией, т.е. наукой о жизни организмов, сколько их систематикой. Систематика и сегодня остается наукой, изучающей и сравнивающей, прежде всего внешнее строение, очертания, формы тела живых существ. Формы и очертания тел изучает и геометрия. В геометрии принято выделять формы шара, цилиндра, конуса и более сложные, по числу граней, ребер, вершин – тетраэдр, гексаэдр (куб), октаэдр и др. В описании внешних форм организмов для целей систематики биологи к терминам геометрии прибегают редко, понятно почему. Между тем, современная жизнь требует быстрой узнаваемости некоторых типов живых существ. Для этого их изображают в виде комбинации нескольких простых геометрических фигур. В обычной жизни мы часто видим упрощённые изображения людей, чаще всего спортсменов, в виде комбинаций из цилиндров и сфер (руки, ноги, хоккейные клюшки, головы и футбольные мячи). Лошадка на детском рисунке тоже имеет вид цилиндров разного диаметра и длины с круглой головой и треугольными ушами.

Извлечем из таких изображений полезный урок: хотя и грубовато, но геометризация жизненных форм реально работает. Но что значит “грубовато” и как понимать “работает”? Работает, с какой достоверностью – вот в чем вопрос.

В зависимости от цели исследователя или художника полезность геометризации природных объектов различается в широком диапазоне. Систематик несомненно опознает в комбинации цилиндров четвероногое животное, но ничего более не добавит. Для эколога, изучающего и моделирующего жизнь экосистем, определение живых тел до уровня видов почти всегда излишне. Модельеру экосистем гораздо важнее знать характерную индивидуальную массу живых тел и название трофического уровня, к которому данная группа организмов принадлежит. Экологу-модельеру особенно важны значения индивидуальной массы тела, интенсивности питания, дыхания, экскреции у данной группы особей. Форма тела его тоже интересует, но в основном в тех случаях, когда он, например, вычисляет затраты энергии на движение, а соответственно учитывает силу сопротивления воды движущемуся существу (она зависит от геометрии тела). В современной биологии и экологии знание внешней морфологии организмов чаще всего излишне, но зато **возрастает потребность выразить морфологический облик живого существа с помощью основных геометрических образов, что позволяет отобразить особь в численной форме.**

Если эколог работает с биотой целых водоемов, то он вынужден задаваться вопросом: как велики ошибки, приносимые в его работу неучётом геометрии хотя бы основных живых актеров экологической сцены? Заметим, что равным образом и

биолог, изучающий жизнь сообществ водных организмов, должен был бы спросить себя: как велика ошибка, возникающая в биоэкологических интерпретациях в результате недоучета геометрической формы тела организмов, а равным образом и формы разных вместилищ жизни – самих водоемов, и особенно укрытий на их дне, в которых организмы обитают. Насколько важно биологу или экологу учитывать геометрическую форму жилищ животных, а также рукотворных “жилищ” растений, – размер и форму парников, теплиц, оранжерей? Цветочных горшков, наконец. В следующей лекции эта тема будет рассмотрена подробнее.

В профессиональных учебниках по биологии и экологии такие вопросы на научной основе обычно не обсуждаются. Между тем, у экологов они возникают при постановке региональных, субглобальных и глобальных задач, когда в поле зрения оказывается множество экосистем и других родственных структур, в частности, хозяйственных объектов. Может быть, в таком случае организмы должны быть представлены в виде формальных множеств? Но ведь их (множеств особей разных видов) неисчислимо множество. Что и как в них сравнивать?

2. Дисперсии, тренды и морфологический шум на идеальных геометрических фигурах

Экология одинаково обращает свое внимание к Гео, т.е. к косным (физическая и химическая основа Земли и жизни на ней) и к Био (обитатели) объектам. Поскольку сопоставление, какого-то одного косного и одного биологического тела (организма и куска скалы) мало что даст, приходится сравнивать множества тех и других. Самое простое отображение множеств – это представление их в виде размерных рядов. Размерные ряды имеют собственные свойства, присущие им независимо от того, являются ли их члены косными или живыми, растениями или животными, обитают ли организмы на суше, или в воде. Поэтому *в общей экологии сравнительный анализ размерных рядов так же фундаментально важен, как в биологии важен – сравнительный анализ отдельных типичных (на глазок!) представителей своих видов.*

Возьмем наипростейший пример множества – ряд равнобедренных треугольников разного размера (рис. 2.3 *а*, ряд 1). В геометрии два и более прямоугольных треугольника называются *подобными*, если их стороны, образующие прямой угол, пропорциональны между собой (в принципе достаточно равенства любого из острых углов). Характерным параметром любых прямоугольных треугольников является длина стороны (в ряду 1 – высота h , причем $k = h$). Построим график (рис. 2.3 *б*) функции $S = f(h)$, где S – площадь треугольника. В арифметических координатах соотношение S и h в ряду равнобедренных треугольников разного размера (линия 1) описывается прямой (при интерпретации графиков линейные регрессии часто называют *трендами*), расположенной под некоторым углом к абсциссе. Возьмем также ряд *неподобных* прямоугольных треугольников с разной длиной сторон (Рис. 2.3 *а*, ряд 2; здесь $k = \text{const}$, h изменяется от 0.5 до 5). Этому варианту соответствует линия 2.

Теперь построим (рис. 2.3 *в*) график функции $S = f(h)$ для 1 и 2 рядов в двойных логарифмических координатах. На графике видим два линейных тренда (линии 1

и 2) , расположенные под разным углом к абсциссе. Соотношение S и h в обоих множествах описываются уравнением:

$$S = a h^b \tag{1}$$

Коэффициент b является оценкой самоподобия фигур в каждом ряду. Различие между рядами 1 и 2 тем больше, чем больше различие в значении углового коэффициента.

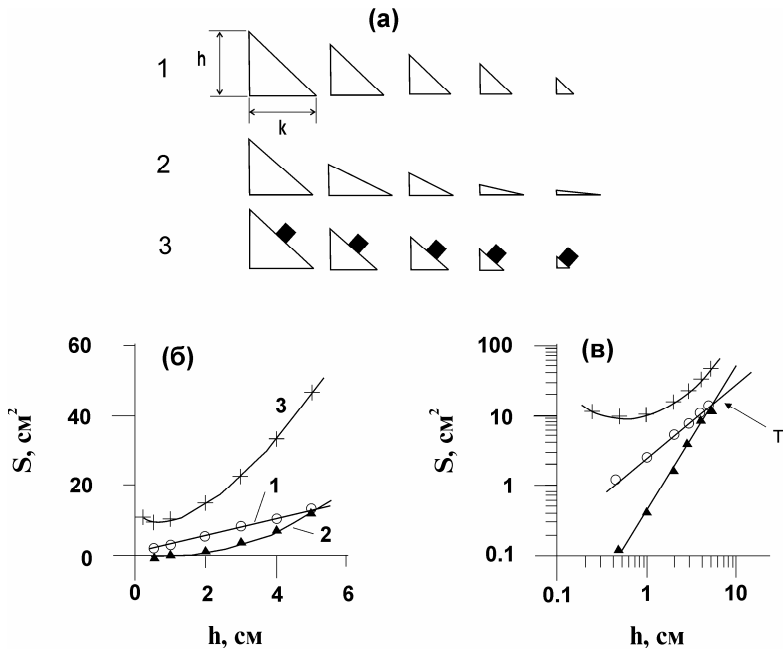


Рис. 2.3. Численный эксперимент. (а) – фигуры идеальной геометрической формы (треугольники). h – высота, k – длина основания, S – площадь поверхности фигуры. (б) – соотношение площади (S) указанных выше фигур и их высоты (h). (в) – то же соотношение, но в двойных логарифмических координатах. Пояснения в тексте.

Рассмотрим теперь третий ряд треугольников в совокупности с дополнительным объектом не треугольной формы и определённой площади (рис. 2.3 а). На треугольниках этого ряда размешен выступающий морфологический “орган” – черный квадрат. Вопрос состоит в том, в какой мере этот “орган” повлияет на графическое отображение множества треугольник + орган. Из графика на рис. 2.3 в видим, что в двойных логарифмических координатах множество 3 нелинейно. Это указывает на диспропорциональность объектов, образованных путем соединения геометрических объектов, разных по форме и по площади поверхности. Заметим и другое: кривизна линии 3 тем больше, чем больше S добавленного внешнего “органа” по отношению к S основной фигуры – равнобедренного треугольника.

То, что было проделано выше – это еще один методологический прием. В науке он используется с давних пор, а в современной науке и образовании применяется постоянно и эффективно. Базовые геометрические формы отражают простоту общемировых законов, которым подчиняются пространственные формы всех природных тел – косных и живых. Базовые геометрические формы это идеальные фигуры. Реальных, вещественных косных и живых тел, отвечающих геометрическим

идеалам, в природе очень мало. Форма, рельеф поверхности, фактура организмов настолько разнообразна и причудлива, что биологи, имели, казалось бы, все основания полагать, что описывать “живые формы” языком геометрии не надо и пытаться. Да, для целей систематики, не надо и пытаться. Но есть другие цели.

В тех многочисленных случаях, когда эколог не интересуется спецификой внешней морфологии организмов, он должен задаться вопросом: как велика ошибка, возникающая в тех случаях, когда форма живого тела аппроксимируется какой-либо идеальной геометрической фигурой? Известно, что в ряде случаев форма живого тела или его органов близка к форме шара (например, белёсое соцветие одуванчика с семенами-летучками), цилиндра (стебель, ствол почти любого растения) или конуса (раковина брюхоногого моллюска). В большинстве же случаев отклонения от идеальной формы велики. Но сколь велики будут ошибки в расчетах S живых тел V , если вычислять их по формулам для идеальных геометрических фигур? Если они велики, то правы биологи, геометрических методов обычно избегающие?

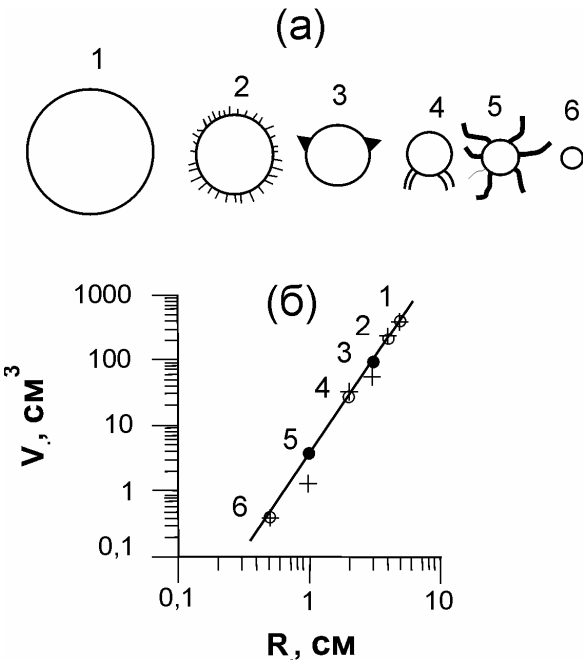


Рис. 2.4. Численный эксперимент. (а) – сферические модели с периферийными “органами” на поверхности. (б) – соотношение радиуса и объема модельных объектов. R – радиус шара, V – объем шара Пояснения в тексте.

Имея в виду этот вопрос, проведем еще один численный эксперимент. Примем за основу идеальный шар. Возьмем размерный ряд шаров разного диаметра, R (в плоскости – соответствующий ряд; рис. 2.4 а). На поверхности шаров (на рис. 2.4 – в проекции) разместим внешние “органы” в виде цилиндров разного диаметра и длины (соответственно и объема), или в виде треугольников. Внешние “органы” существенно изменяют внешний вид искусственных объектов, в разной степени приближая их к “живым формам”. Общий геометрический объем добавленных “органов” прибавлен к объёму шаров. Вопрос поставим так: насколько “морфологическая периферия” на идеальных сферических телах отразится в размерном ряду таких объектов? Созданные нами модельные объекты имеют индивидуальные номера, и все могут быть идентифицированы на графике функции $V = f(R)$. Переходя к живым телам, спрашиваем себя: велика ли дисперсия, “шум” от морфологической периферии на сферических объектах?

Линия на рис. 2.4 б проведена по двум идеальным объектам (№ 1 и 6). Крестиками показаны отклонения от линии объектов 2-5. Черными точками, положенными на линию, показаны шары с радиусом 3 и 5, но без морфологической периферии. Положение крестиков, соответствующих этим номерам, показывает заметное отклонение объектов 3 и 5 от линейной регрессии, т.е. “шум” от периферийных органов. Соотношение объема и радиуса сферических тел с умеренной морфологической периферией удовлетворительно описывается степенным уравнением: $V = aR^b$. Сама “периферия” обеспечивает лишь дисперсию.

Первый вывод из этого эксперимента тривиален: чем больший объем добавляют “периферийные органы” к объему идеальных геометрических фигур, тем больше и дисперсия, “морфологический шум”. Второй вывод гораздо важнее: морфологическая периферия не нарушает *существенным для исследования образом* базовую геометрическую форму живого тела. Если бы в размерном ряду живых тел наблюдалась диспропорция (как на рис. 2.3 а линия 3), соотношение V и R имело бы нелинейный вид (линия 3 на рис. 2.3 в).

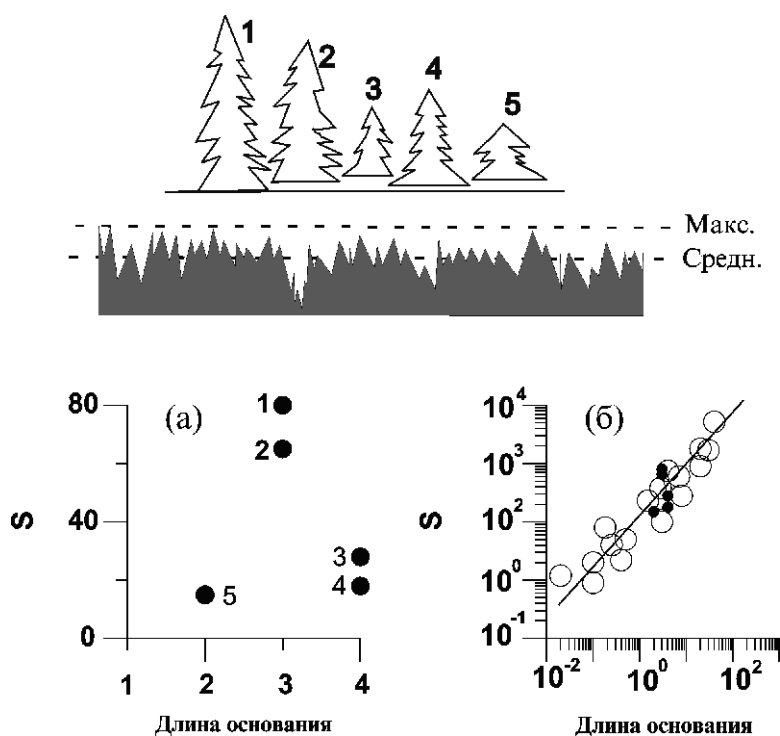


Рис. 2.5. Численный эксперимент. В верхней части рисунка – единичные ели; ниже – еловый лес. (а) – соотношение длины основания ели и площади (S) её боковой проекции (группа из пяти елей), (б) – то же самое в составе леса. В условных единицах. Пояснения в тексте.

В приведённом численном эксперименте размерный ряд объектов не превышал двух порядков величин. Между тем, экологу широкого профиля обычно приходится иметь дело с полым набором главных таксономических и экологических групп растений и животных. В этом случае диапазон объектов по их индивидуальной массе, или прижизненному объёму тела составляет несколько, а нередко много, порядков величин. Поэтому возникает вопрос: как при большой длине размерного ряда рас-

пределяется дисперсия по морфологическим (как, впрочем, и по другим) численным характеристикам объектов? Как в графическом виде выглядит дисперсия? Рассмотрим один пример.

На рис. 2.5 показана группа из пяти елей (1 – 5). Их боковые проекции обобщаются контуром из треугольников. На фоне такого контура реальные очертания елей выглядят как “морфологический шум”. Еловый лес (см. ниже отдельных елей) – это экологический объект (растительный полог), верхнюю кромку которого можно назвать собственным “морфологическим шумом” леса. Вернемся к отдельным пяти елям. Соотношение между длиной основания каждой ели и площадью (S) её боковой проекции выглядят на графике (рис. 2.5 *а*) как дисперсия без намека на какую-либо закономерность. В составе леса всё выглядит иначе. Выборка елей в лесном размерном ряду показана на рис. 2.5 *б* (светлые кружки), а 5 елей с рис. 2.5 *а* обозначены черными кружками. Как видим, дисперсия в пределах группы, казавшаяся случайным распределением, в лесной выборке оказывается частью закономерного тренда. Так соотносятся между собой смежные уровни любой иерархии. Тренд, соответствующий более высокому уровню организации – леса, является для него более важной характеристикой, чем специфические особенности предшествующего уровня – отдельных деревьев. Другими словами, *индивидуальные “морфологические шумы” мало значимы в групповом лесном тренде*. Точно так же случайные шумы в студенческой аудитории не заглушают слов лектора.

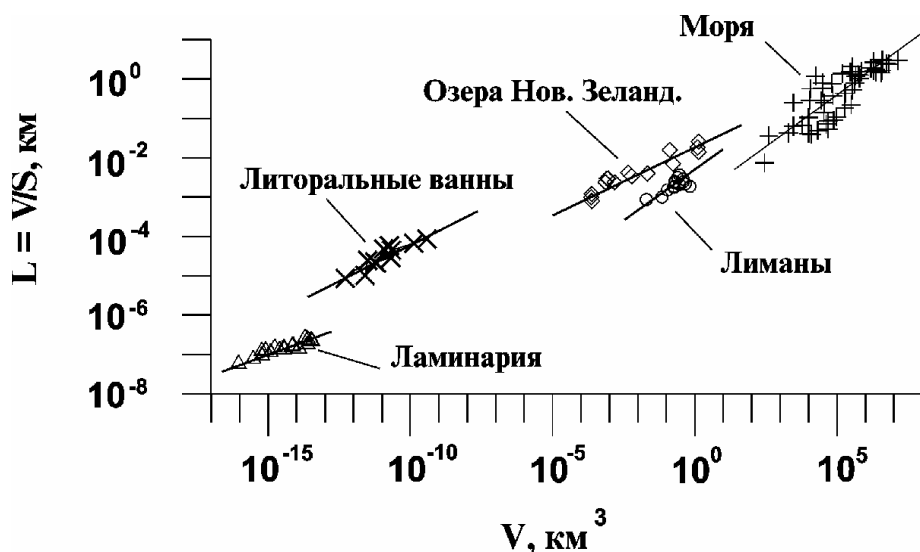


Рис 2.6. Соотношение индивидуального геометрического объема (V) природных объектов и их глубины ($L=V/S$). Тренды и дисперсия.

Для биологов–систематиков, морфологов, иногда и экологов (да и не только для них) специфические черты внешнего строения особей каждого вида представляют фундаментальную важность. Экологи же работают на границе между группой биологических наук и группой наук о Земле. Главные морфологические структуры Земли (океаны, моря, озера всех размеров, а также континенты и острова в той их части, которая выступает над водой), как живые тела, тяготеют к простым геометрическим формам (это обсуждается в других лекциях). В этой связи уместно поставить вопрос: в какой мере дисперсия, вызываемая частными геоморфологическими осо-

бенностями водных и континентальных тел Земли соизмеримы (в метрике биосферы) с дисперсией в размерных рядах организмов?

На рис. 2.6 в двойной логарифмической метрике показано соотношение между общеморфологическим параметром $L = V/S$ самых разных природных объектов (этот универсальный параметр будет осуждаться отдельно) и их индивидуальным геометрическим объемом V . Взятые для демонстрации природные объекты (моря, озера, лиманы, небольшие литоральные ванны, и слоевища известной морской водоросли ламинарии) расположились в метрическом поле отдельными кластерами. В каждом кластере наблюдается и тренд, и дисперсия, причем во всех случаях тренд выступает как более важный признак множества, а дисперсия отражает морфологический (для ламинарии) и геоморфологический (для экологических объектов) “шум”.

* * *

В заключение перечислим основные положения, обсуждавшиеся в этой лекции.

1. Все природные объекты представлены в природе множествами себе подобных (самоподобных) структур, что, на первый взгляд кажется тривиальным. Но здесь важно другое: любым множествам присущи общие свойства, проявляющиеся при разложении множеств в размерные ряды. Эти свойства не тривиальны.

2. Сравнение множеств так же важно в экологии, как в биологии важно сравнение типичных для каждого вида особей. Поскольку экология имеет своими объектами и отдельные организмы, экологам приходится сопоставлять разные, телесные и надтелесные уровни организации, причем как в виде отдельных экземпляров, так и в виде множеств. Для эколога надтелесные множества всегда информативнее и важнее особей.

3. Тренды, отражающие общие геометрические характеристики природных тел и множеств, выступают как более важные, характеристики своих кластеров, чем частные свойства особей, образующих эти кластеры.

Лекция 2.4. Уроки научно-методологической эволюции

1. Методологический парадокс
2. Сходство методологической революции в физике и в биоэкологии
3. Другие методологические коллизии: человечество без места и “откуда жизнь пошла?”
4. Методологический вес понятий “мера” и “измерение”
5. Несоответствия в представлениях о крупномасштабном облике природы

Основные концептуальные и методологические принципы науки формировались из эмпирических знаний на протяжении веков. Осознанная рефлексия в природознании стала складываться в XX веке, преимущественно когда на научную сцену вышли наиболее сложные природные объекты, с их межнаучной проблематикой. Изучение таких объектов требовало соблюдения определенных познавательных правил. Строгие правила приходили в основном из точных наук. В биологии “методология” считалась не относящимся к делу философским занятием и не приветствовалась даже в последней четверти XX века. В современных массовых учебниках по биологии и географии нет не только специальных методологических разделов, но даже внятного разъяснения структуры познавательной деятельности и потребность в этом отсутствует.

1. Методологический парадокс

Как устроена Природа, из каких “частей” она состоит, знает только ее Главный Конструктор. Люди этого не знают. Одна из первейших задач науки эти “части” выявить и обозначить их границы. Это универсальная, возникающая во всех науках методологическая проблема. Как универсальная, она имеет общенаучное (типовое) решение. Однако, специализированные науки решают ее по-разному. А решив по-разному, формулируют разные смыслы (там где на самом деле смысл один) и строят концепции, противоречащие одна другой. Противоречия и парадоксы часто указывают на скрытую, под ними, не решенную наукой проблему. Поэтому умные люди говорят: увидели парадокс, там и копайте, найдете истину.

Наблюдения в природе всегда приводили к противоречиям и парадоксам. Хрестоматийный пример дает физика: как это изучаемый объект может быть одновременно и частицей, и волной? Это противоречие! У биологов и экологов то же самое: распределение организмов на Земле непрерывное, или прерывистое? Иными словами, живая природа дискретна (состоит из сообществ), или образует непрерывный ряд (континуум)?

То же касается и проблемы времени: оно непрерывно, или прерывисто? На какие “части”, “отрезки” его можно делить? Любая историческая периодизация условна, но полезна. Как известно, давно ушедшая история уроков сама не дает – не может. Их надо из нее извлекать, а это работа не самая легкая и ее избегают.

Вариантов периодизации истории биологии существует множество и все они условны, поскольку имеют разные основания. Можно и полезно провести периодизацию по определению понятия “жизнь”. Выделим два этапа:

Этап 1-й. Базовое определение предмета биологии гласит, что жизнь – *форма существования организмов и их видов*. Первоначально виды считались лишь условными понятиями, а не реальными природными объектами. Затем их стали рассматривать как разные эволюционные состояния жизни. Лишь много позже появились генетические доказательства реальности биологических видов.

В соответствии с таким пониманием предмета и границ биологии, эволюцию жизни и живой природы стали уверенно отождествлять с эволюцией организмов и видообразованием. Живущие в наше время виды выступают как листья филетического древа, обобщающего мир жизни. Сообщества организмов, в конце XIX века уже известные, филетическое древо не отражает, что явно показывает неполноту этой модели живого мира. Видовое разнообразие представлялось тогда главным богатством живой природы, базовым условием ее нормального функционирования. Столь высокая оценка биоразнообразия была в то время вполне естественной, поскольку о динамических условиях стабильности жизни ранней биология известно не было.

Классический этап развития биологии увенчался учением Чарльза Дарвина о происхождении видов путем конкуренции и отбора успешно приспособившихся победителей в “борьбе за существование”. Великие мысли Дарвина о происхождении видов организмов его последователи стали называть “теорией эволюции жизни”, хотя теорией в современном смысле слова дарвинизм никогда не был (при всем уважении к Дарвину). К началу XX века биология имела видоцентрическую концепцию жизни. И совсем не ожидалось, что позже в самой биологии и в смежных с ней науках откроются новые типы объектов и возникнет ряд сложных концептуальных вопросов и трудно разрешимых противоречий.

Этап 2-й. Второй этап идейного развития биологии и ранней экологии условно можно датировать с появления на научной сцене двух объектов, которые являются не *телесными* (оболочечными – с фиксированными очертаниями, как у организмов), а *групповыми, надтелесными* (без оболочек, с произвольно меняющимися очертаниями). Это популяции и сообщества. С начала этого периода они стали упоминаться в числе объектов биологии. Соответственно, было расширено и определение жизни. В учебниках стали писать, что *жизнь есть форма существования организмов, видов и их сообществ*. Иногда в этом списке упоминаются и популяции, но определенности нет.

В любой области знания открытие новых объектов приносит вопросы, требующие ответов, соответствующих их статусу. Общенаучный статус четких телесных и нечетких надтелесных множеств в принципе сходен, но их познавательное освоение, т.е. методология изучения, оказались разными. Это и понятно. Телесные объекты имеют стабильные опознавательные признаки, позволяющие различить особи разных видов. Напротив, популяции организмов, сообщества и другие надтелесные множества стабильных внешних признаков группового ранга не имеют (как не имеют их облако, крона дерева при ветре, или заросли прибрежных водорослей при движении воды).

Визуальное различие телесных и надтелесных объектов потребовало для их изучения разных методологий. Яркий пример методологической революции при переходе от телесных объектов к надтелесным дает история физики. Напомним, что ньютоновская физика изучала земные и небесные тела в поле сил физического тяготения. Мир космоса имеет объекты определенной массы, размера, плотности с относительно простым поведением. Планеты вечно вращаются по своим орбитам, у орбит есть свои характеристики, положение небесных тел в каждый данный момент пред-

сказуемо с большой точностью. События в ньютоновском мире обратимы, как колебания маятника, или сжатие и разжатие пружины. Этот мир детерминирован.

Между тем, в XIX веке наука понемногу стала осознавать существование другого – вероятностного облика того же самого мира. С обликом вселенной, для которого характерны нечеткие, размытые множества, встретились и физики, и биологи с экологами.

2. Сходство методологической революции в физике и в биоэкологии

Методологическая эволюция, а соответственно и революции в ней – явление общенаучное. Концептуально-методологический строй наук о Земле и наук о жизни существенно различается и отличен от тех же аспектов физики и химии. Однако, есть и важное общенаучное сходство. Это, прежде всего единые математические и аксиоматические основания, которые в специализированных естественных науках раньше или позже, но обязательно выявляются. Выявляются и типовые познавательные ситуации. Остановимся на интересном историческом примере.

Незадолго до вторжения Наполеона в Россию, в 1811 г, его личный друг, математик Жан-Батист Фурье изложил на заседании французской Академии принципиально новую методологию описания “жизненной функции” всех физических тел – передачу тепла между двумя его точками с разной температурой. Фурье рассматривал физическое тело как множество молекул, имеющих свои, очень короткие траектории движения. Движению каждой молекулы, как и движению автомобиля, соответствует определенное количество энергии. Вычислить на основе ньютоновской физики общую энергию движения несчетного количества молекул камня или металлического бруска невозможно. Интегральной энергетической характеристикой любого твердого тела, т.е. множества молекул, является его температура. Найденное Фурье методологически новое решение физической задачи привело его к выводу, что передача тепловой энергии между двумя точками тела пропорциональна разности температур в этих точках.

Как физики, изучавшие твердые тела, не могли оперировать отдельными молекулами, так биологи не могли характеризовать вид организмов, изучая всех без исключения его особей. Аналогично молекулам твердого тела, организмы видов, популяций и сообществ являются членами своих множеств. Для биологических множеств характерно разнообразие по индивидуальному размеру, объему, массе (как молекулы тела разнообразны по индивидуальным энергиям движения). Сравним поэтому познавательное поведение физиков, с одной стороны, и биологов с экологами с другой стороны.

Методологический прием биологов состоял в том, что они *усредняли признаки множества организмов*, выбирая из него отдельных “типичных представителей” каждого вида. Внешние признаки типичных особей заносились в биологические определители. Затем представители основных таксонов и видов попадали в учебники, наполняя их страницы удивительным и восхитительным разнообразием, которое требовалось просто запоминать, поскольку пищи для понимания жизни это почти не давало (как без познания “групповой жизни” молекул не понимали передачи тепла).

Поскольку перенести к себе частный методологический прием Фурье биологи и экологи XX века не могли, они использовали общенаучную методологию анализа любых множеств. Любые живые объекты в популяциях и сообществах представляют собой (как и молекулы физических тел) множества с разнообразием. В теле с разной температурой в двух разных его точках молекулы разнообразны по индивиду-

альным энергиям их движения. В популяциях и сообществах организмы разнообразны по своим индивидуальным размерам или массам. В отличие от множеств молекул, множества организмов можно разлагать в размерные ряды. В результате такого разложения обнаружилось, что ряды особей, или иных структур, слагающих разные популятивные объекты, обладают определенными свойствами. Эти свойства (в последующих лекциях они будут обсуждаться) могут быть выражены численно и содержательно интерпретированы. С некоторой долей упрощения скажем, что *групповые свойства живых множеств аналогичны групповым свойствам молекулярных множеств, хотя сами эти свойства в каждом случае специфичны*. Понятно, что у молекул и организмов они совершенно разные. Примечательно, что на этот вид подобия в природе неоднократно указывал В.И. Вернадский. Применяв к своим объектам универсальную методологию, экологи получили решающий стимул к дальнейшему развитию своей науки, уже начавшей из биологии выходить.

Последующее развитие экологии открыло ей экосистемы и биосферу Земли. Это тоже множества, но гораздо более гетерогенные, чем изучавшиеся ранее. Примерно с 60 – 70 гг. XX века локальные экосистемы стали в экологии основными. Самые важные из них имеют ранг географических, совокупная масса “живого вещества” в которых на много порядков величин меньше массы косных веществ. Общественное развитие привело к тому, что одни концептуальные утверждения вошли в противоречие с другими.

3. Другие методологические коллизии: человечество без места и “откуда жизнь пошла?”

На какой концептуальной основе следует интерпретировать гетерогенные объекты типа экосистем и биосферы? – на биологической, с дарвинизмом, или на географической, без него? И как быть с человечеством, с Социо, которое не относится ни к биологии (хотя его члены живы), ни к наукам о Земле (хотя людская жизнь, как и любая, без Земли невозможна)? Экосистемы и биосфера с обитающим в ней человечеством не могут быть отнесены ни к чисто биологическим – живым, ни к чисто географическим – косным. В биогеохимии такие, “квазживые” объекты получили название *биокосных* и по понятным причинам отнесены не к биологии, а к наукам о Земле. Биологам базовые понятия биогеохимии – “биокосные тела” и “живое вещество” оказались глубоко чуждыми.

Ситуация в науке XX века сложилась парадоксальная, кричащая о себе: живое человечество не нашло себе места ни в классической модели жизни – филетическом древе, ни в концепции дарвиновской эволюции, ни в современной СТЭ, ни в учебниках по биологии и ранней экологии, а поместилось в учебниках десятка разных наук о Земле. Они дружно приняли человечество со всем его хозяйством и в полном соответствии с действительностью отобразили его условными знаками в своих картографических моделях – от физико-географических до административно-политических. Самые зрелые и мудрые природоведческие науки – физика, химия, математика молчаливо при этом присутствовали. С какими же мыслями о природе и месте человечества в ней? Почему такому **разлому естества** не воспротивились?

Между тем, В.И. Вернадский (1988. с. 164) писал: “Изучаемая биологическими науками живая природа ближе к нашим чувственным восприятиям, чем более отвлеченное другое ее выражение, которое дается биогеохимией. Но оно ярко выражает, с другой стороны, такие проявления жизни, которые отходят на второй план в биологическом подходе к явлениям жизни”. В отличие от биологов, Вернадский не отлучил человечество от жизни на Земле, а включил его в состав “живого вещества”

биосферы. Правильность такого методологического шага горестно подтверждается развивающимся в биосфере глобальным системным (Био-Гео-Социо) кризисом, ядром которого является человечество.

Назовем также несколько других концептуальных вопросов, которые неизбежно появились в результате исторического расширения круга надтелесных природных объектов. Это, прежде всего исконный вопрос науки о жизни: как правильно интерпретировать коронную тему биологов о *происхождении жизни и ее последующей эволюции*? Однозначной ответ, который биология столетиями искала, но так и не нашла, требует теперь расширения и уточнения. Имеют ли все живые и как бы “не вполне” живые надтелесные объекты (от одноклеточных организмов до биосферы) одного общего предка и, если да, то каков он? Образуют ли все они единый эволюционный ряд, или это члены разных эволюционных рядов? Иными словами, нет ли эволюции отдельно для организмов, популяций, сообществ, экосистем и биосферы? Но ответ может быть и совсем другим: не все природные ряды отражают эволюцию. Рядов, которые эволюционными (в биологическом смысле) не являются, в природе сколько угодно. Множество камней на морском берегу, множество озер, множество вихрей в потоках воды к эволюции жизни, а вероятно и Земли, прямого причинного отношения не имеют. Даже множество особей вида связывать только лишь с биологической эволюцией и интерпретировать в терминах дарвинизма вовсе не обязательно (в последующих лекциях этот вопрос будет обсуждаться на разном конкретном материале). Едва ли надтелесные биологические и экологические множества возникли и затем исторически формировались по тем же законам, что и организмы, образуемые из молекул путем биосинтеза. Но в таком случае, будет ли *методологически правильным* распространять концепцию Дарвина на популяции, сообщества и их генезис? Тем более этот вопрос уместен по отношению к экосистемам и биосфере.

В таком взаимосвязанном комплекте названные выше вопросы в биологии XX века не формулировались и не обсуждались. Возникали и неоднократно обсуждались отдельные вопросы, в основном относящиеся к происхождению жизни в форме организмов, а особенно – к эволюции “живого мира”. В истории биологии неоднократно выдвигались гипотезы об автогенезе (на современном языке – саморазвитии). Однако массовые учебники по биологии о них умалчивают. Чем больше объектов, отличных от живых существ, появлялось на научной сцене, тем больше понятие “живой мир” расширялось, становясь всеохватным. Принципиально важно, что научная биология сочла нужным остаться в своих классических границах, сохранив исконное определение жизни, как формы существования организмов, их видов, популяций и сообществ. Все современные книги, отражающие научный взгляд на жизнь, содержат сведения об организмах, их видах, и в гораздо меньшей мере о популяциях и сообществах. Что же касается экосистем и биосферы, то, как объекты биологии они не обсуждаются (Биология, 2001; Audesirk, 1996; Simpson et al., 1957 и мн. др.).

Напротив, в системе биологического образования вся группа названных выше вопросов повисла в воздухе и запуталась в противоречиях. Противоречия обозначились особенно ярко, когда на территории бывшего СССР для школ средней ступени был создан как бы обобщающий учебный предмет под названием “общая биология”. В противоречии с научной биологией, в учебниках по обобщающей школьной дисциплине объединены все живые и квазживые, телесные и надтелесные природные объекты от отдельной бактериальной клетки до экосистем и биосферы. Объекты, относящиеся к наукам о Земле, интерпретируются в них на основе чисто биологических представлений. Ни Дарвин, ни ранние дарвинисты, ни последующие эволюционные генетики и создатели СТЭ, предвидеть такого не могли. Широко известная в биологии СТЭ, т.е. “синтетическая теория эволюции”, предназначена ее создателями

для синтеза только в границах биологии. Для глобального синтеза природоведческих знаний она не предусматривалась и непригодна.

Тематическая структура “общей биологии” построена так, что у учащихся закрепляется ничем не обоснованное представление, будто существует единый эволюционный ряд от клетки до биосферы. Биология и эволюция не только организмов, но и сообществ обсуждается в учебниках на основе дарвинизма, хотя нет никакой фактологии, подтверждающей, что конкуренция и естественный отбор действуют по отношению к целым сообществам. Утверждение же авторов учебников, что сообщества формируются путем объединения разных видов на общей территории, справедливо, но отражает лишь феноменологию, никак не раскрывая глубинных оснований такого процесса, а они современной науке известны и никакого отношения к дарвинизму не имеют (Зварзин, 2000, 2001). Идею эволюционного единства всех биосферных объектов распространяют и справочники по школьному курсу биологии, во множестве издаваемые для абитуриентов высшей школы (например, Богданова, 1998, с. 69 – 74). Поскольку приемные комиссии университетов не вправе отклоняться на экзаменах от школьных программ, они своим авторитетом закрепляют у будущих студентов в корне ошибочные представления о земной природе.

Искусственное создание “общей биологии” потребовало также произвольного пересмотра определения жизни и ее границ (разночтения можно проследить, сравнивая определения жизни в справочниках по биологии за разные годы). Все выше перечисленное в совокупности привело к целому ряду кардинальных несоответствий с фактами самой биологии и с другими науками, особенно в эволюционной плоскости*. Авторы государственных (Украина в том числе) учебников по общей биологии начала XXI века утверждают, что эволюция биогеоценозов, т.е. тех же экосистем, происходит на основе принципов дарвинизма (Кучеренко и др., 2001). Напротив, в межнаучной среде существует гораздо более широкий спектр интерпретаций: в космосе и на Земле наблюдаются разные типы эволюции. Эволюция земной природы тоже не едина, а складывается из разных русел; кроме естественного отбора в сложных системах действуют общемировые законы саморазвития.

Эти и другие вопросы о научном статусе природных объектов имеют прямое отношение к *Школе* и будут в той или иной мере рассмотрены в последующих лекциях. В краткой методологической теме это делать затруднительно, поскольку обсуждение требует опоры на соответствующую фактологию. Ответы будут даваться последовательно, по мере изложения фактологического материала и перехода от биологии к биоэкологии, далее к биогеоэкологии и к биосферологии. Эволюция научных идей и методологии природоведения обсуждается в мировой литературе давно. К общенаучным книгам на эту тему (Айзатуллин, 1999; Блауберг и Юдин, 1973; Вернадский, 1976; Гулыга, 1981; Гумилев, 1989; Лебедев и др., 1974; Мадельброт, 2002; Пригожин и Стенгерс, 1986; Эйнштейн и Инфельд, 1966; Юдин, 1978), приведенным в списке литературы, можно и желательно обращаться.

4. Методологический вес понятий “мера” и “измерение”

Любое физическое тело – множество молекул, любой организм – множество органов, любой орган – множество клеток и тканей. То же и в космическом мире: молекулы, ионы, газы, пылевые облака, космические туманности, различимые глазом или

* Подробное обсуждение имеется, например, в работах: Лима де Фариа, 1991; Зварзин, 2000, 2001; Хайлов, 2001; Хайлов и др., 2005).

подводными приборами локальные помутнения (“пятна”) в водоемах. Остановимся на нескольких методологических просчетах, которые в базовых разделах биологии сохранялись на протяжении всего XX века и сыграли явно негативную роль.

Дело в том, что в сознании человека, тело которого компактно и имеет четкие границы, сам факт телесности является признаком как бы *фундаментальной особости и важности объектов телесного типа*. Все “живое” телесно. И напротив, наблюдаемые в природе многочисленные россыпи – песок, пыль, дождь, лес, луговой травостой, колышущаяся на ветру, меняющая свою форму крона дерева, подводные заросли – все надтелесное человеку представляется не особым и важным объектом природы, а частью безликого внешнего окружения. Лишь живые множества, особенно такие, как стада и стаи животных, т.е. ходячая пища, заслуживают людского внимания.

Ввиду завышенной оценки телесности собственные имена стали присваивать разным живым групповым объектам, что подчеркивает “особость” каждой такой группы (точно так же названия организмов разных видов подчеркивают их особость). В самом деле, множества особей, которые обмениваются между собой генами стали называть “генетическими популяциями”. Множества особей, занимающих в сообществах общую почвенную или иную нишу, назвали “экологическими популяциями”. Отдельную группу популятивных объектов образуют многовидовые сообщества. Индивидуалистский подход привел к тому, что фундаментальное понятие общего природоведения – “множество” (а с ним и общенаучная методология их изучения) в биологии оказалось излишним и не использовалось. Отсюда и методологический просчет: биологи классической школы очень долго не знали, что множества, образованные живыми “частицами” обладают важными групповыми свойствами. Напротив, в биогеохимии и в других науках о Земле множественные объекты всегда выступали как гораздо более важные, чем отдельные косные и живые тела. В.И. Вернадский неоднократно подчеркивал, что в глобальных биогеохимических процессах основную роль играют не отдельные молекулы, песчинки, валуны и живые тела, а их рассыпные множества (вспомним характерное выражение Вернадского – “живые дисперсии”).

Казалось бы, имея среди своих объектов несколько их групповых “видов”, можно было обратить внимание на то, что у любого объекта, в том числе популятивного, должен быть тот или иной размер. Главная мерная характеристика любого множества – общая численность его членов. В системе атома это численность электронных оболочек и других структур, в солнечной системе – численность планет, в стаде – характерная численность его членов, в семье – количество ее членов. Не зная о существовании у любых множеств собственных групповых свойств, биологи классической школы не смогли догадаться, что численность конкретных видов, популяций и сообществ – принципиально важный параметр и определенным образом задан самой природой (это хорошо доказанный современной наукой факт; в дальнейших лекциях он будет проиллюстрирован и объяснен).

Между тем, в учебниках, по биологии, издаваемых в уже начавшемся XXI веке, вопрос о *необходимой численности* основных типов структур в составе живых тел или их сообществ не ставится и не обсуждается. Например, в учебниках по ботанике школьникам не объясняют, что у каждого типа морфологических структур растения имеется *характерное* (не точное, а в среднем свойственное) их количество и характерный размер или индивидуальная масса. Не станем утверждать, что при изучении ботаники в средней школе это важно знать и напрасно это не сообщается. С методологической точки зрения здесь важно подчеркнуть, что общие законы природы распространяются и на растения. А поэтому общенаучные методологические приемы

(определение численности структур это один из них) полезно использовать в специализированных науках, в том числе и в ботанике.

Согласимся, что количество разного рода веточек, листьев, семян очевидного ботанического смысла не имеет. Но это не значит, что его нет вообще (забегая вперед, скажем, что смысл есть и он весьма серьезен). Ведь свойства атомов разных химических элементов зависят от количества в их составе структур разного типа. Другой яркий пример: при выпуске продукции заводов по сборке автомобилей, самолетов, танков количество выпускаемых изделий является первейшим показателем производства. Непрерывно производя растения, природа поступает иначе, или точно так же – каждому биологическому виду отмеривает его общую численность на Земле, а каждому растению – численность его гомологичных органов? Это идеальный пример концептуально важного методологического вопроса. Сформулируем его так: если Природа задает оптимальную численность каждому типу своих изделий (в лекциях будет показано, что это именно так), то *не является ли определение наукой численности структур любого биологического множества, методологически обязательным приемом при изучении земной природы?* Оставим этот вопрос пока без ответа. Его можно получить только на конкретных примерах и в своем месте они будут в *Школе* даны.

Недостаточное понимание природных множеств и традиционная нелюбовь к методологии точных наук привели к еще одной, дожившей до наших дней методологической ошибке биологии: понятие “вид” в отношении организмов (а соответственно и “видовое разнообразие”) стало восприниматься как исключительное базовое качество жизни, а в биологии конца XX века – как главная ее проблема (в действительности давно решенная великим Дарвином). В учебниках биологии начала XXI века видовое разнообразие интерпретируют как главную ценность живой природы и основу ее стабильности (Кучеренко и др., 2001). На самом же деле разнообразие присуще всем классам природных объектов – живых и косных, земных и вселенских. Любое разнообразие структурировано и может быть разложено “по полочкам”, т.е. по “видам” объектов. Однако, в подавляющем большинстве случаев разнообразие таких “видов” с эволюцией никак не связано и концептуального значения не имеет. Методологическая история разных наук это убедительно подтверждает: нигде кроме биологии разнообразие не интерпретируется как главное условие стабильности.

Возвращаясь к заглавию этого раздела, скажем: хотя проблема видового разнообразия давно и успешно решена Дарвином, это не означает, что заниматься ею теперь незачем. Нерешенные вопросы есть всегда. Например, было бы важно оценивать “биологический вес” или “биологическую цену” разных видов, как в экологии объективно оценивается “метаболический вес” (т.е. вклад в общий или в парциальный обмен веществ) разных размерных групп в составе тех или иных надтелесных множеств. Функциональная роль (“цена”) разных биологических видов, например вида *Myosotis silvatica* Hoffm. (незабудка лесная) и вида *Pinus silvestris* L. (сосна) в экономике природы едва ли одинакова. В заботах о сохранности жизни на Земле не следовало бы складывать разные виды живых существ в одну общую корзину под названием “биологическое разнообразие”. Не дай Бог, если на кладбище окажется *Pinus*, а мы останемся с *Myosotis* – лесными незабудками.

5. Несоответствия в представлениях о крупномасштабном облике природы

В начале этой лекции отмечалось, что на первом этапе истории биологии в ней стала использоваться группа понятий, смысл которых считался тождественным.

Это понятия “мир организмов”, “мир жизни”, “живой мир”, “живая природа”. Методология науки требует, чтобы научные понятия имели формальные определения, позволяющие убедиться в их различии, полном или частичном сходстве. В биологии это условие не всегда соблюдалось; понятийная небрежность встречается и теперь. Поскольку перечисленные понятия использовались как тождественные, им логически соответствовало тождество в эволюционной плоскости: “эволюция организмов” = “эволюция жизни” = “эволюция живой природы”. Ни живое человечество, ни косное тело Земли или отдельные его части две эти группы понятий в себя не включают. К концу XX и началу XXI века понятийный аппарат природоведения формируется не только биологией, но в равной мере и науками о Земле. Коренными понятиями с четкими формальными определениями стали как минимум два и оба в науках о Земле. Это “физико-географическая оболочка Земли” – в географии и землеведении, и “обитаемая область Земли”, т.е. “биосфера” – в биогеохимии, почвоведении, океанологии и в других. Два эти понятия включают соответствующие части косного тела Земли и все ее население вместе с человечеством (Григорьев, 1937; Герасимов, 1985; Гумилев, 1989). На этом *межнаучном* фоне понятия, используемые в учебном биоэкологическом образовании (в составе “общей биологии”) выглядят как исторический анахронизм. В условиях развивающегося в обитаемой области Земли системного кризиса такое состояние мирового образования несет в себе большую и долговременную опасность.

Земля, обитаемое пространство и обитание как процесс

Введение в тему

Начнем с высоко ценимого биологами “разнообразия видов”, но не на Земле, а во Вселенной, среди ее косных объектов. Характерная особенность планет Солнечной системы весьма примечательна: плотность упаковки ее вещества в единице объема в среднем не очень отличается от удельного веса организмов (близко к 1). Расчетный удельный вес планетарного тела Земли равен примерно 5.5 г/см^3 , тогда как у Юпитера 1.34, а у Сатурна 0.71, у Нептуна 2.2 (Путилов, 1956, с. 89). Плотность вещества в объеме всей солнечной системы на десятки порядков меньше, а у отдельных объектов из дальнего космоса – на десятки порядков больше. Таково “разнообразие плотности упаковки” вещества во вселенском пространстве. Людской опыт освоения этой реальности через органы чувств, скромно пожалованные нам Главным Конструктором, ничтожно мал.

Объемная концентрация вещества в добываемых на Земле ценных рудах, в почвах, в предметах всedневногo обихода, а также доступная измеримость массы – все это “бесспорно убеждает”, будто вещество несравненно важнее любого пространства. Между тем, вещество (его масса) и пространство (его объем) отражают два аспекта мирового бытия. Они так же неразрывны, как “частица” и “волна” (вспомним известный принцип дополнительности Нильса Борна). Взаимно дополнителины и параметры, присущие веществу и пространству. Подобно массам, объемы вполне измеримы, даже когда они несколько “размыты”.

Но кроме объективной реальности есть еще субъективное людское восприятие. Физические тела не только *мирно тяготеют друг к другу* (в учебниках по биологии даже о людях так тепло не пишут, а очень надо бы: война среди них уже сильнее, чем среди львов и тигров). Вещества и тела имеют цвет, приятный запах, вкус, а некоторые дорого на ушах поблескивают. Тела можно делить на части, продавать и покупать. Высокую рыночную стоимость имеет земная поверхность, площадь на Земле с веществами под ней. Напротив, пространство как таковое (мысленно отделенное от вещества, иначе их разделить невозможно!) есть как бы “ничто”. Людей с их бытовым опытом можно поэтому понять: **сознавая важность вещества, они не осознают такую же важность неотрывной от него половины – пространства**. Физикам это понять легче.

Всем не физикам природное пространство, особенно если большого масштаба, представляется бесполезным. Объем никем еще не занятой комнаты и даже пустой винной бутылки ценностно понятен каждому. Напротив, объем горы, выступающего над водой острова или целого континента, объем атмосферы Земли а тем более солнечной системы, в обыденной жизни знать незачем, продать невозможно. Что же это – бессмысленные величины? Нет, в географических справочниках объемы океанов, морей, озер всегда приводятся. Бытовой резон и здесь налицо (вода, даже морская, людьми ценится), но не этот резон главный.

Географы, геологи и многие другие исследователи, изучающие вещество в пространстве Земли, а также астрономы фундаментальную важность земной и космической “пустоты” осознают издавна. Планетные системы, туманности, космиче-

ские облака поражают не массой, как тела на Земле, а своим колоссальным объемом. При всей размытости, условности их границ, космические объемы вычислимы. Поэтому астрономические объекты – Земля, Юпитер, Сатурн, Солнечная система и т.д. могут быть охарактеризованы плотностью распределения вещества в них ($C_w = W/V$, где W – общая телесная масса в данном геометрическом объеме, V – объем). В той же логике, по таким же параметрам каждый может вычислить плотность заполнения “живым веществом” пространства своего любимого живого тела (большая часть которого – неживая вода), а также рассчитать “плотность жизни” в любых других обитаемых пространствах, например в жилых домах, в гнездах птиц, в ульях пчел, в коконах шелкопряда, в телах мухи и комара. Все это методологически подобные (типовые) задачи с простым численным решением.

Сказанное выше позволяет думать, что тема пространств с живым веществом в них и тема космических пространств с их косным веществом, имеют фундаментальную связь. На рис. 4.13 (в лекции 4.5) размещение живого вещества в земном пространстве и косного в космическом, показано в совмещенном виде. Любопытно выглядит, есть о чем подумать. Однако, между живым и косным есть формальная разница: косное не “живет”, а просто “существует”. Согласно кратчайшему определению, жизнь – форма *существования* организмов. Между тем, ни в одном определении жизни не указывается, где, на каком месте протекает жизнь, где организмы обитают и чем *жизнь* организмов отличается от *обитания* и *существования*. В учебниках сообщается, что организмы обитают в “местообитаниях”, или, что то же самое, в “биотопах”. Однако, эти термины – никчемная тавтология.

Интуитивно кажется, что, базовые природоведческие понятия “жизнь”, “обитание” и “существование” близки по смыслу. Вероятно, так полагают и авторы большинства учебников, поскольку, давая школьникам и студентам определение жизни, формулировок обитания и существования никогда не приводят. Не содержится понятие “обитание” и в справочниках по биологии, экологии, природоведению. Приходит поэтому крамольная мысль, что **три термина, отражающие основы мирового бытия, методологически недоработаны.** Чем же тогда полезны?

Чтобы обсудить их смысловые различия, возьмем развернутое определение жизни из Биологического энциклопедического словаря (1986 с. 202): “Жизнь можно определить как активное, идущее с затратой полученной извне энергии поддержание и самовоспроизведение специфической структуры...”. Поскольку термин “обитание” в определении “жизни” не использован, существенной частью “жизни” биологи обитание не признают, в перечень характерных ее признаков не включают. И действительно, получения извне дополнительной энергии специально для обитания не требуется. Упомянутого самовоспроизведения специфической структуры обитание тоже не предполагает. К тому же, в многократно переиздаваемом бездумными чиновниками современным государственном учебнике Украины под названием “Общая биология” (Кучеренко и др., 2001, стр. 36) читаем, что “клетка – основная структурно-функциональная единица живой природы”. Очевидно, что обитание людей, зверей, растений и бактерий в отдельно взятой живой клетке никак не присутствует и не проявляется. Вывод прост: термины *обитание* и *жизнь* отражают существенно разные аспекты двуединого бытия. Организмы живут и одновременно обитают. Это такая же взаимно дополнительная, неразрывная пара, как “частица” и “волна”, как “вещество” и “пространство”, как “пространство” и “время”. Мы еще раз встречаемся с простой и одновременно великой мыслью Нильса Борна – принципом дополнительности (методологии науки в чистом виде).

Выявить общие черты (параметры) обитания не так уж сложно. Жизнь без собственного места невозможна, но “место” должно быть четко задано и конечно. Размером оно должно быть не меньше чем само живое тело или группа совместно

живущих тел. Чтобы жить не “вообще”, т.е. неизвестно где, а обитать при известных и приемлемых условиях, организму или их группе с известной массой надо на достаточное время иметь некоторый объем свободного земного пространства и соответствующей поверхности для собственного размещения. Введем потому такую параметрическую формулировку: *обитание – это использование живым существом или группой существ с известной массой W некоторого объема V , свободного пространства и площади S земной поверхности, на протяжении времени t , которых достаточно для гарантированного воспроизводства, т.е. получения потомства с характерной для данного биологического вида численностью потомства N* ; получение потомства предполагает, что в данном месте имеется *некоторый оптимум потребных жизненных условий*.

Такое определение не решает всех проблем, но позволяет отличить обитание от двух близких, но не тождественных ему терминов: 1) “обитанию” соответствуют обязательные параметры, как минимум – V , W , S , t и дается гарантия производства за то же время N потомков; 2) “жизнь” – понятие нечеткое; вместо однозначного перечня ее главных измеримых параметров, в учебниках биологии приводятся везде разные списки качественных “признаков жизни”, давно вызывающих критику; и 3) “существование” – нечеткое понятие, отражающее пребывание не только живых, но и косных тел в любых пространствах, на территориях или акваториях, не гарантирующих живым телам ни оптимума условий, ни получения потомства. **Отсюда следует важный вывод: обитание, подлежит самостоятельному изучению на разных уровнях организации, подобно тому, как на разных уровнях организации изучается жизнь.** Специально изучать обитание в задачи биологии, вероятно, не входит. Это дело экологии и других наук о Земле.

Лекция 3.1. Земля как матрица жизни

1. Дробность, фрактальность косных и живых поверхностей.
2. Ещё о матрицировании на разных уровнях организации природы.
3. Гимн сравнительной биологии и о пользе других сравнений
4. Сравнима ли морфология жидких, твёрдых и живых тел?

Жизнь в знакомых людям её формах существует только на нашей планете. Можно ли понять жизнь на Земле, изучая ее отдельно от Земли? Или поставим вопрос иначе: удалось бы объяснить жизнь в совсем другой части вселенной (будь она там), исходя из условий обитания на Земле? Ответ, казалось бы, однозначен: ни то, ни другое сделать невозможно. В самом деле, Земля с её характерными континентами, океанами, морями, островами, бухтами, проливами, реками, с неповторимым рельефом, с береговыми линиями, контурами гор и с бесконечными и разными по свойствам земными поверхностями (о климате не говорим) – это **исконное ложе жизни, ее вечная и благодатная матрица**. Поверхность, её твердь и вода – всё это на ближайших к нам небесных телах совсем не такое, да и химические соединения в иных состояниях и комбинациях, чем на Земле. По сведениям с космических аппаратов, уже достигших других, отличных от Земли, планет их поверхность на земную совершенно непохожа.

Как бы могла эволюционировать земная жизнь, если бы ее ложе, её химическая и физическая матрица, не отпечатывались каждодневно и миллиарды лет на прижатых к ней жизненных формах? Конкретного ответа этот вопрос не требует; достаточно сказать, что отпечатки Земли на жизни неизбежны и многие давно известны. Важно и другое: в широком смысле матрицирование – это наиболее универсальная форма *повторения себя, размножения*. Биологи обычно включают размножение в число “признаков жизни”, Однако это заблуждение. Современная наука уже рассталась с мифом об уникальности феномена жизни, склоняется к идее, что в основе жизни лежат вселенские базовые законы, а специфика *земной жизни* проявляется как явление адаптивное, отражающее физико-химические, условия на Земле.

1. Дробность, фрактальность косных и живых поверхностей.

До последней четверти XX века земную поверхность и рельеф географические науки рассматривали макроскопически, обычно в масштабе не менее 200 м в одном сантиметре карты. Биологи же не обязаны изучать косное вещество вообще, независимо от масштаба. В конце XX века не столько географы, сколько математики стали земной масштаб мельчить. Это делается просто. Береговую линию озера можно прорисовать и измерить, проходя её целиком, но каждый раз уменьшая размер шага. И с каждым его уменьшением – подробностей, изгибов берега будет обнаруживаться больше и больше. То же самое можно проделать на горном склоне. Теоретически говоря, шаг можно уменьшать хоть до размера молекул на поверхности земных минералов. Естественно, что расчётная длина замкнутой береговой линии или горного склона будет при уменьшении шага увеличиваться, и предела не видно. Постепенно

выяснилось, что все природные границы и поверхности, косные и живые, сколь угодно дробимы – *фрактальны*. Общая длина контурных границ в данном объекте, а также его общая внешняя поверхность стремятся к бесконечности. В этом заключён некий смысл. Хотя он не вполне ещё ясен, наука открыла для себя новый угол зрения на окружающий нас мир.

На протяжении всей эволюции жизнь была буквально прижата к фрактальной поверхности Земли, со всеми её мельчайшими подробностями и локальными особенностями. Так неужели морфология матрицы (геоморфология на разных ее уровнях – от молекулярного до географического) не отпечатывалась в морфологии и свойствах организмов, популяций, сообществ? В косной Земле одни фракталы порождают другие. Нет ли аналогичного соответствия между фракталами косного мира и мира живого? Чем определяется рассечённость, ветвистость рек в их водосборе, как не соизмеримым с реками рельефом поверхности, рассечённостью ландшафта? Чем определяется сходство ветвления рек и ветвление растений? Еще совсем недавно, в середине XX века исследователи, которые на это сходство всерьёз указывали, были осмеяны, а в начале XXI века факт такого подобия не просто доказан фрактальной геометрией, но и серьёзно осмыслен.

Заметим также, что в самых рассеченных, богатых живыми поверхностями частях земной растительности наблюдается наибольшее разнообразие животных, поверхность тела которых, в этой зелени обитающих, тоже очень рассечена и тонка. Огромное по численности и по разнообразию видов сообщество насекомых обитает среди тонких стеблей лугового разнотравья с изобилием мелких и мельчайших цветков и нектарников. Стоя на лугу, можно слышать неугомонный хор этого сообщества.

Точно также, наибольшее обилие самых разных видов организмов, от мельчайших насекомых до крупных обезьян и змей наблюдается в густых кронах влажных тропических лесов. Почему так? Не потому ли, что тропический лес и луговое разнотравье – это зелёные фракталы, к которым прикикло живое, движущееся, жужжащее и поющее сообщество животных, в основном мелких, соизмеримых с листвой и цветками? Не значит ли это, что *один экологический фрактал происходит от другого и адекватен ему? Это своеобразное, экологическое матрицирование?*

Однако зелёные кружева травяных лугов и крон деревьев тропического леса отстают по своей дробности от почв, состоящих из мелких и мельчайших минеральных частиц. К ним добавляются ещё более тонко диспергированные и преобразованные в гумус органические остатки растений и животных. Это мир множества разнообразных по свойствам поверхностей, с “границами” масштаба микроскопического, близкого к молекулярному, и действительно молекулярному. Почвенное население этими поверхностями сплошь окружено и тесно к ним примыкает, или скользит вдоль них в плёночной влаге.

Почвы поражают микроскопическими размерами их обитателей. Например, в 1 грамме влажной почвы может жить $10^3 - 10^6$ амёб и жгутиконосцев, 10^4 раковинных амёб и 10^3 инфузорий. Размер жгутиковых – 2 – 5 микрона, амёб – 10 микрон, инфузорий – 10 – 20 микрон. В плёночной воде почв обитает множество нематод – микроскопических круглых червей. Их типичная численность несколько миллионов на 1 м² почвы, но бывает до 50 млн. Численность мелких кольчатых червей – энхитреид, с длиной тела 10 – 25 мм составляет от 85 до 250 тысяч на 1 м² почвы. Количество дождевых червей – 500 – 800 на квадратный метр*.

В учебниках биологии роль Земли для жизни объясняется самым банальным и скучным образом; “Земля – основа жизни”, как будто этим всё сказано. Такое от-

* М. Гиляров, Д. Кривоуцкий. Жизнь в почве. М.: Молодая гвардия, 1985. – с. 76 – 79.

ношение биологов к Земле понятно: биология базируется на идеях *организмоцентризма* и *видоцентризма*. В широком смысле – это идея *биоцентризма*. Это Био без Гео.

2. Ещё о матрицировании на разных уровнях организации природы.

Не вступая сейчас в дальнейшие и не самые простые объяснения по поводу фрактальности Земли и жизни на ней, заметим только, что для дикого зверя размером, скажем, в 1 м, чтобы ему к рельефу приспособиться, вполне достаточно видеть или ощущать детали земной поверхности с шагом, например, в 10 см. Это позволит ему укрыться от ветра или от врага за небольшим бугром, найти корень съедобного растения, откопать нору и поймать съедобного зверька. Зверьку размером 10 см для приспособления в своём масштабе к земной матрице необходимо знать (“ощупать”) детали поверхности с шагом, например, в 1 см. Адаптация же бактериальной клетки к земной поверхности потребует “ощупывания” в масштабе молекулярной решетки минералов. Сведения о земной матрице бактериальным клеткам должны быть известны на уровне химических свойств минеральных и органических частиц, т.е. с шагом в доли микрона и меньше. Легко, казалось бы, понять, что биологические адаптации к земной поверхности происходят на всех уровнях её организации. И это самые массовое и самые важные адаптации. Учебники по биологии о них никогда не рассказывают, даже не упоминают, хотя все авторы – дарвинисты. На языке современной науки это значит, что *на всех уровнях организации* (отнюдь не только между ДНК и белками) *информация с земных матриц переходит в живые тела, в них впечатывается*. Каков механизм отпечатывания – это другой вопрос.

Механизм отпечатывания белков на ДНК и РНК в учебниках по биологии описан подробнее, с полным пониманием важности матрицирования. Самые научные разделы учебников по общей биологии посвящены тонкой структуре носителей информации и скоррелированности структуры синтезируемых белков со структурой генетических макромолекул. О возможности же морфологического соответствия между земными матрицами и заселившей её биотой, о тесной скоррелированности Гео и Био, в учебниках нет и речи. Жизнь на Земле излагается без Земли. В учебниках ей не посвящено ни одной страницы.

В противоположность образованию, междисциплинарные научные знания позволяют утверждать что структура любого масштаба в составе Гео передаёт о себе информацию прижатой к ней, т.е. “обитающей” на ней структуре Био – будь то молекула белка, клетка бактерии, одуванчик, или популяция ламинарий на морском мелководье (заметим, кстати, что длины слоевищ ламинарий *соизмеримы* с размером гидродинамических вихрей на морском мелководье!). Геоморфологические структуры в масштабе небольшого лимана на юге Украины, Чёрного моря и Атлантического океана с очевидностью определяют специфику живого населения трех этих водоемов. В лиманах нет ни дельфинов, ни китов, ни акул. В Чёрном в море дельфины обитают, акулы мелки, китов нет. Океаны вмещают всех. Между объемом водоемов и максимальным индивидуальным объемом (массой или длиной тела) обитателей существует закономерная связь. В последующих лекциях скоррелированность морфологии Гео и Био будет показана в самых разных масштабах – от морских литоральных ванн с площадью зеркала 1 м² до Атлантического океана с площадью зеркала 8.2*10⁷ км².

3. Гимн сравнительной биологии и о пользе других сравнений

Можно ли сравнивать бактерию и акулу, сопоставлять корову и берёзу? Аналогичный вопрос и к географам: сравнимы ли Индийский океан и полуостров Крым, водные и твёрдые структуры Земли?

Всё, что имеет размеры, можно сопоставлять как угодно – по длине, ширине, высоте, глубине и т.д. Вопрос в другом – любое ли сравнение имеет смысл? Известно, что за время своей индивидуальной жизни жители вод редко выходят на сушу, а жители суши хотя и плавают, но длительно жить под водой не могут. С житейской точки зрения, жидкие тела и твердь (например, озёра и острова) сравнивать хотя и можно, но какой в этом толк?

Однако же, биологи занимаются сравнением бактерий и акул, коров и берёз, кур и людей нисколько не смущаясь вопиющими различиями низших и высших организмов во внешнем облике и образе жизни. В итоге была создана дарвиновская концепция эволюции от бактерий до человека.

Что же мешает предположить, что сравнение твёрдых и жидких геоморфологических структур Земли может выявить их важное сходство? А за сходством структур не выявятся ли сходства обитания на этих структурах? Биологи справедливо называют корову, берёзу и человека *живыми телами*. Но не забудем, что, будучи живыми, они в то же время остаются телами физическими, а соответственно имеют массу, объём, поверхность и т.д. Так что физическая и геометрическая преемственность между Землей и жизнью заранее обеспечена. Это вовсе не означает их полного подобия. Известна и химическая преемственность Земли и жизни – они состоят из одинакового набора основных атомов. Почему же не быть между Землей и жизнью также и морфологической преемственности, универсального морфологического матрицирования?

После гимна биологии используем её главный познавательный прием – сравнение. Но применим его к Земле. Сравнить будем основные её морфологические структуры, а потом сопоставим с морфологией жизни, понимая морфологию широко – на всех уровнях организации. Сравнить будем не “на глазок”, а опираясь на имеющиеся измерения.

4. Сравнима ли морфология жидких, твёрдых и живых тел?

По занимаемой на Земле площади поверхности жидкие природные тела (океаны, моря, озёра) преобладают, а остальное – твердь над поверхностью воды: континенты и острова. В первом приближении водоёмы и острова выглядят как зеркальные отображения друг друга (рис. 3.1). Не стоит считать это сходство случайным, незначимым; по сути дела, водоёмы – это “острова” воды на поверхности суши. В первом приближении (рис. 3.1) вогнутые, заполненные водой, и выпуклые, заполненные твердью, – геоморфологические структуры напоминают зеркальные отображения друг друга. Подобны и их контуры. Твёрдые и жидкие геоморфологические тела можно и полезно сравнивать по индивидуальному объёму, V , площади поверхности, S , и по другим, в том числе биологическим характеристикам. Численные значения V и S сообщаются в разных географических источниках. Все приводимые на последующих графиках данные взяты из табличного приложения к компетентному справочнику (Морской атлас, 1980) и из других источников.

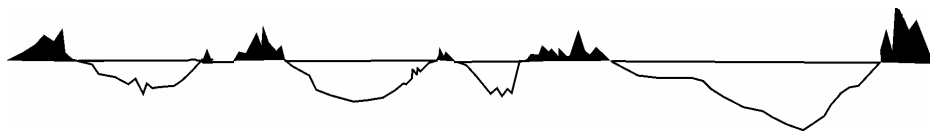


Рис. 3.1. Обобщённый контур твёрдых и жидких (водных) тел в поверхностной области Земли – её биосфере. Обратим внимание на внешнее зеркальное сходство фрактальных контуров.

На рис. 3.2, находим соотношение (корреляцию) площади S зеркала водоёмов и их индивидуального объёма V . В крупноразмерную группу вошли моря Атлантического, Тихого и Индийского океанов, а в малоразмерную – озёра Крыма. Как видим, при огромном различии в размерах водоёмов (от небольшого озера объёмом 10^{-4} км^3 до моря – 10^8 км^3) все водоёмы выстроились вдоль одной линии. Следовательно, по соотношению S и V они подчиняются общему закону, который можно описать уравнением:

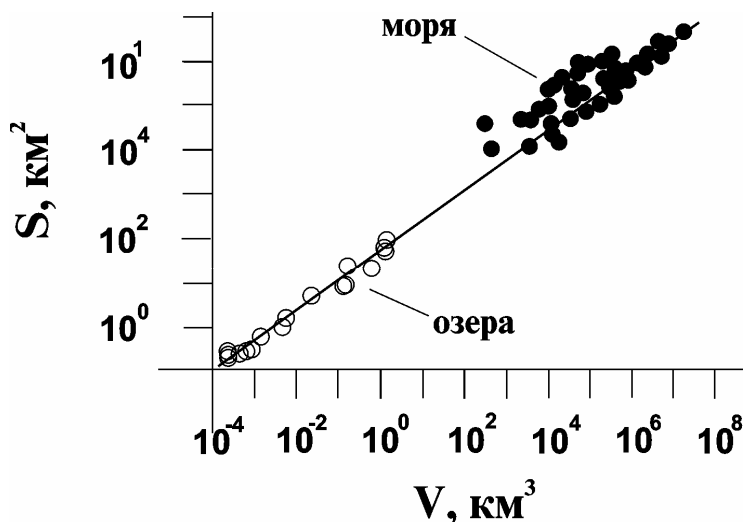


Рис. 3.2. Соотношение индивидуального объёма (V) и площади поверхности (S) разных типов водных природных тел – морей и озёр.

$$S = aV^b \quad (1)$$

или в линейной форме (в соответствии с графиком):

$$\text{Log } S = \text{Log } a + b \text{ Log } V$$

Единицы измерения на рис. 3.2: $S \text{ км}^2$ и $V \text{ км}^3$ (их всегда можно видеть на осях графиков).

Обратимся к твёрдым телам, сначала к островам. На рис. 3.3 показано соотношение индивидуального геометрического объёма и площади поверхности островов. Как и в предыдущем случае, наблюдается линейная корреляция S и V в достаточно широком диапазоне, от 10^0 до 10^6 км^3 . В группе островов действует тот же закон (1), что и в группе водоёмов. Хотя серьёзные выводы делать рано, подтвердим, что зеркальное (рис.3.1) сходство водоёмов и островов – явление не случайное. Глу-

боководные хребты в зонах тектонической активности аналогичны зонам активности на суше.

Перейдём к живым телам – организмам. Ещё сравнительно недавно, в середине прошлого века, в биологии преобладало мнение, что живые и косные тела “принципиально”, “качественно” различны, если судить по всей совокупности наблюдаемых признаков (а их у каждого объекта, по меньшей мере, десятки и сотни). Действительно, по всей совокупности качественных признаков косные и живые объекты различны. Однако, при всём том, по целому ряду важных численных характеристик их можно между собой сравнивать и объективно оценивать их подобие и различие. Численной оценкой подобия объектов по любой паре параметров является значение коэффициента b в (1). Два или больше объектов подобны, если $b = 1$. Отличие коэффициента b от единицы (в ту или другую сторону) указывает на выражаемое величиной коэффициента различие (неподобие) сравниваемых объектов. Имея это в виду, обратимся к рис. 3.4.

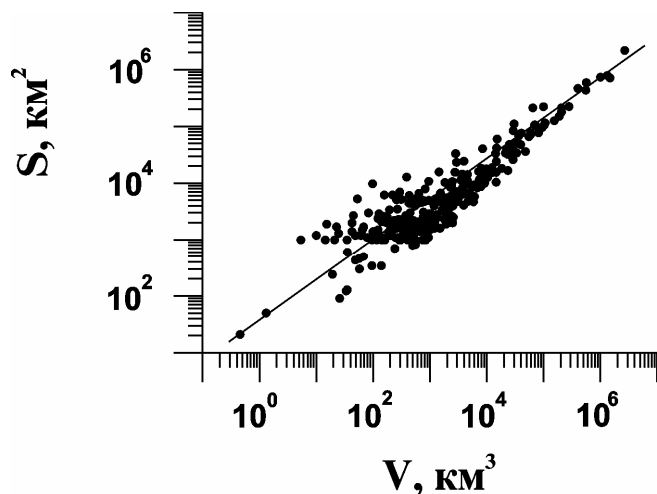


Рис. 3.3. Соотношение индивидуального объема (V) и площади поверхности (S) островов.

График построен точно так же, как и два предыдущих: на абсциссе – индивидуальный геометрический объем растений, а на ординате – площадь их внешней поверхности. Растения выбраны потому, что в отличие от тел животных, тело растений имеет истончённые и разветвлённые формы, наиболее несхожие с формой камней, валунов, скал, островов. Методы расчета площади поверхности надземных органов растений имеются, но обсуждать их не будем. На рисунке показано соотношение S и V у широко известного вида морской водоросли – ламинарии, выросшей в тихой морской бухте (линия 1) и на открытом мелководье с сильным волновым прибоем (линия 2). Линия 3 обобщает косные тела – морскую гальку, заселяемую мелкими нитчатыми водорослями (крестики) и подводные камни, заселяемые ламинарией (чёрные точки). Как следует из рисунка, соотношение S и V у водорослей подчиняется закону (1). Понятно, что, в отличие от гальки и камней, водорослям необходима для фотосинтеза значительно большая внешняя поверхность. Соответственно, линия 1 проходит примерно на порядок выше линии гальки и камней. Отметим, что угол наклона линии 2 (у ламинарий, растущих при интенсивном движении воды в прибойной зоне моря) значительно больше, чем у линии 1 (ламинария в тихой бухте). Это значит, что в условиях прибоя растения по мере роста быстро наращивают пло-

щадь своей фотосинтезирующей поверхности (но зато не вырастают такими крупными, с широкими слоевищами, какими бывают ламинарии в защищённых от интенсивного прибоя бухтах).

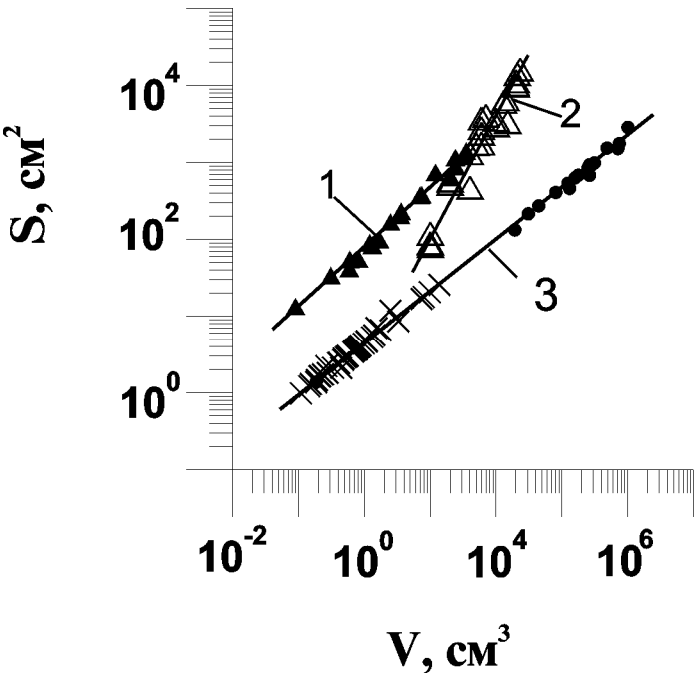


Рис. 3.4. Соотношение индивидуального объёма (V) и площади внешней поверхности (S) слоевищ морских многоклеточных водорослей (ламинарий), обитающих в гидродинамически разных условиях. 1 - ламинарии в тихой бухте, 2 – ламинарии и того же вида в условиях постоянного прибоя. Для сравнения: линия 3 – морские камни с мелкими водорослями на их поверхности.

Сравнивая между собой графики на рисунках 3.2 – 3.4, приходим к однозначному выводу, что все физические тела **следуют общим законам геометрии**, отражённым в уравнении (1). С другой стороны, на примере с ламинарией можно видеть (по значениям коэффициента b), в какой мере водоросли **следуют закону жизни** и адаптируются к скорости движения обтекающего их косного тела – воды.

Этот вывод явно не совпадает с традиционным тезисом биологии о “принципиальном” различии косных и живых тел природы. Но вернемся снова к соотношению S и V разных природных тел, на этот раз в глобальном масштабе. На рис. 3.5 по тем же параметрам сравниваются главные типы морфологических структур биосферы – океаны, континенты, острова, моря, озёра, мелкая морская галька, подводные камни и валуны, а вместе с ними и живые тела – морские водоросли. По абсциссе графика находим, что диапазон сравнения очень велик – примерно 35 порядков по индивидуальному объёму тел. Как следует из графика, закон (1) однозначно соблюдается во всём этом ряду. Специфика разных объектов проявляется в дисперсии отдельных объектов относительно общего тренда. Характерная особенность группы ламинарий проявляется в значительно большей (во всём ряду) площади их внешней поверхности в сравнении с косными телами такого же объёма.

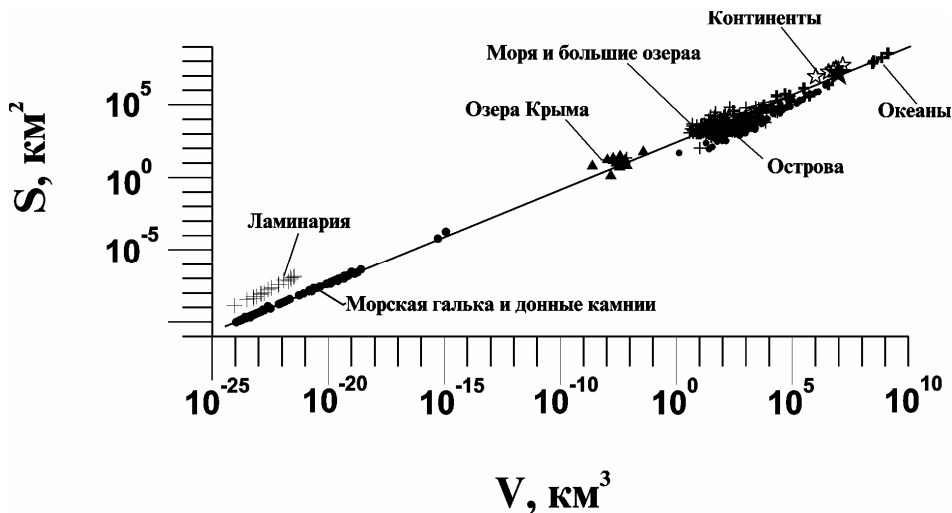


Рис. 3.5. Соотношение индивидуального объёма (V) и площади поверхности (S) твёрдых и жидких (водных) природных тел в сравнении с аналогичным соотношением у живых тел – морских ламинарий.

* * *

В начале этой лекции было сказано, что авторы учебников по биологии объясняют феномен жизни и её эволюцию только на основе биологических законов. Учащиеся остаются в неведении о фундаментальной роли Земли, как ложа, как матрицы жизни. Проведённое выше обсуждение показало, что разные геоморфологические структуры скоррелированы, соорганизованы между собой в составе географической оболочки Земли. В свою очередь, биоморфологические структуры, т.е. живые существа, скоррелированы с геоморфологическими, на которых они располагаются, селятся. Разные формы скоррелированности объектов, входящих в состав биосферы, будут обсуждаться и в последующих лекциях *Школы*.

Лекция 3.2. Обитание как экологический процесс

1. Обиталища и их недарвиновская эволюция
2. Исходные параметры и численные характеристики обиталищ и обитания

Согласно определению жизни, которое косное вещество исключает, изучать обитание в разных природных средах биология не обязана. Это дело экологии, что в точности соответствует имени этой науки: *oikos* – *дом, жилище, укрытие, убежище*. В самом широком смысле – *обиталище*. В церковно-славянском языке это понятие звучит мягче, душевнее – *обитель*.

Если исходить из названия науки, то **главная задача экологии – изучать процесс обитания, разные формы обиталищ и эволюцию обитания**, не подменяя биологию в изучении собственно жизни и эволюции обитателей. Изучение разнообразия биологических видов – было и остается одной из главных задач биологии. Методологически подобная задача в экологии – изучение и анализ разнообразия обиталищ, т.е. нор, гнезд и прочих природных и рукотворных жилых и подсобных помещений, а также обиталищ географического ранга – водоёмов и остров, континентов и океанов. Биосфера – глобальная обитель, всеобщий дом жизни. Какой из наук надлежит изучать обитание в ней, не решено и даже не обсуждается. Каковы природные законы обитания, для людей в том числе – неизвестно. В учебниках таких формулировок нет, а за окном – зримый кризис людского обитания на Земле.

Поскольку биология является наукой специализированной, обитание она описывает не в общенаучных терминах, а в терминах “организм – факторы среды. В мотивации войн, а иногда и в повседневной жизни, понятие “обитаемое пространство” используется давно. В контексте же природоведения его фундаментальное изучение начинается с В.И. Вернадского (1988).

Будучи частью биологии, экология брала себе в объекты сначала организмы и “факторы среды”, затем локальные популяции и сообщества. Наконец был найден по настоящему её собственный объект – экосистемы и биосфера. Но какие из множества протекающих в экосистемах процессов являются собственно экологическими? Отношения хищников и жертв с потоком энергии в пищевой цепи? На какое-то время этой идеи было достаточно (на ней базируется классическая экология по Одуму). Однако хищник и жертва – это только Био. Идея биоцентризма, экологии не подходит. Собственный экологический процесс не может лежать ни отдельно в Био, ни отдельно в Гео, но только в их неразрывном, т.е. биокосном единстве (по Вернадскому). Поэтому будем считать, что **собственно экологический процесс – это процесс обитания, и сообитания на Земле**.

1. Обиталища и их недарвиновская эволюция

Любой отдельно взятый организм, семья, стая, сообщество нуждается не во всей поверхности Земли, не в безбрежной “окружающей среде” а в конкретном собственном месте, личном или групповом обиталище, основная функция которого – быть локальным укрытием. Поэтому определим обиталище, укрытие как *дискретную часть окружающего пространства, отделённую от окружения физическими или условными границами. Главная функция обиталища состоит в, по возможности, безопасном и длительном сохранении оптимального функционирования и воспроиз-*

водства обитателей. Такому определению соответствует гнездо синицы, дупло дятла, муравейник, лисья нора, берлога медведя, но также город с людьми и прочим населением, обитаемое озеро, целый населённый континент, океан, вся биосфера. Все эти объекты – обитаемые “дома жизни”, профессионально изучаемые в экологии, биогеохимии, а также в океанологии, лимнологии, почвоведении и в ряде других наук о Земле. Частным, наиболее характерным для людей случаем являются обиталища временного пребывания, лишённые ряда свойств собственно жилищ. Это производственные, образовательные, медицинские, транспортные и прочие объекты и учреждения. Можно думать, что разнообразие обиталищ не меньше, чем разнообразие биологических видов. В таком случае объем этой научно-прикладной проблемы весьма велик.

Подчеркнем, что обиталища – это не природные оболочки (как берега и дно водоёмов) и не сооружения из строительных материалов (как гнезда без птиц, улья без пчел, людские дома без жителей), а сооружения вместе с их обитателями, в их взаимодействии (Био с Гео) и со связями между самими обитателями (Био с Био). **Минимальное обиталище в действии заключает в себе простейший экологический феномен.**

Обиталище необходимо, прежде всего, по климатическим причинам. Преодоление холода стало одной из первейших задач обиталищ сначала для диких животных, а затем и для людей. Температурную проблему обитания дикие решали средствами биологической эволюции (наследуемый шерстяной покров, теплокровность и др.), а люди придумали генетически не наследуемые покровы – одежду. Совершенствуя одежду, человек-изобретатель выстраивал вплотную к своему телу конструкцию легкого, носимого на себе укрытия – обиталище первого порядка. Построив юрту или вигвам, человек получил более оптимизированное, уже не только по температуре, убежище второго порядка – для семьи. Поставив рядом несколько юрт, люди проторили между ними тропки и сообща соорудили юрту для общественных нужд; появилось обиталище третьего порядка – поселение. Строительство жилищ и поселений позволило людям расселяться по Земле гораздо шире, и надёжнее, чем могли дикие животные. Поселки расширялись, дома надстраивались этажами; формировались и росли города – обиталища четвёртого порядка. Настал XX век, и близко расположенные города соединились удобными транспортными каналами. Количество и разнообразие общественных зданий, служб, учреждений умножилось. Возникли гигантские социальные агломерации – обиталища ещё более высокого порядка. В начале XXI реальностью стала глобализация обитания. Дело здесь не в количестве порядков (их можно насчитать больше или меньше), а в том, что это **эволюция обитания шла с повышением сложности и системной организованности объектов этого рода.**

Обиталища, – они какие? Они живые или полуживые (если “полужизнь” возможна)? Каков механизм эволюции обитания и обиталищ? Что их эволюцией руководило? Не гены же... Это эволюция недарвиновского типа, каких на Земле множество.

Сшив себе одежду, человек вышел за пределы эволюции на генетической основе. Весь дальнейший прогресс обиталищ шёл другим путем. Это был путь проб и ошибок, но не генных мутаций, а усилий конструкторской мысли. Мысль же людей работала, ориентируясь не только на природную среду и её состояние, но также и на рынок и его состояние. Отбор желаемых изделий контролировался не природной средой, а средой рыночной, потребительским спросом.

Природу Главный Конструктор создавал для всех, а людская конструкторская мысль занялась другим, работала на себя. Она порождала ту или иную форму глиняного горшка, ножа, лопаты, или покроя одежды. Первоначально искусственный отбор одежд соответствовал требованиям среды (укрывать от холода). Однако, по-

степенно мысль конструктора одежд, жилищ, бытовых предметов, орудий труда стала переориентироваться на личные вкусы потребителей и требования рынка. В процессе своего обитания люди стали использовать всё более и более обширные массы косного вещества Земли. Они обзаводились мебелью, домашней утварью и пристраивали к домам гаражи с автомобилями. Впоследствии всё это превращалось в хлам, отходы, мусор, заваливая свободные пространства биосферы и наглядно иллюстрируя людское безумие, нежелание предвидеть последствия своей жизни и её социально-экономической эволюции. Вперед пристально не глядели – зачем? Там ведь “светлое будущее”, теперь для нас наступающее.

Рыночный тип эволюции обиталищ наглядно проявляется в промышленном, транспортном, военном, городском строительстве, в купле и продаже жилых и прочих помещений, чего в природе не было. Рыночный отбор жилых, промышленных и прочих проектов, связанных с обитанием, входит, как правило, в прямое противоречие с обитанием в природной среде. Природные условия обитания заменяются искусственной домашней средой без оценки отдалённых последствий такой замены. Людской опыт показывает, что домашняя среда насыщается всё более и более изощрёнными излишествами. Обитателей такая среда явно развращает.

Параллельно с технологической, архитектурной, транспортной, составляющей эволюции обиталищ появлялись новые типы отношений и связей людей с косной природой, а также отношений между отдельными людьми, производственными и прочими группами людей в посёлках, городах, городских агломерациях. Формируется глобальная структурно-функциональная организация общества. Корнями она всё ещё связана с природой, но, по сути, стала самодовлеющей. Какими будут отдалённые последствия глобализации обитания – никто не знает. Но “светлым”, как ожидалось, будущее не выглядит.

Понятно, что речь идет вовсе не о том, чтобы включить все эти темы (а потянулись бы и многие другие) в школьное образование, добавить к биологической эволюции эволюцию обиталищ. Речь идет о том, что земную природу надо видеть и созавать не только в границах организмов и их “видов”. **Природа полна “видами”, других типов не менее важных.** “Популяции” тоже бывают не только из незабудок и комаров. В методологии науки известен обширный класс объектов, называемых “популятивными”.

Как это ни парадоксально, но в эволюции **научно-технического инструментария** (hard) *способность к широкому видению технического мира опередила аналогичную способность широко видеть и понимать мир жизни(soft)*.

2. Исходные параметры и численные характеристики обиталищ и обитания

Чтобы сделать изложение по возможности компактным, необходим **методологический инструментарий**, прежде всего в виде буквенных символов – язык, называемый *параметрическим*. Предпочтение в науке всегда отдается тем понятиям и терминам, которые имеют однозначный смысл. Используя уже принятые в мире термины, или вводя необходимые новые, можно зашифровывать их в виде условных знаков. Это сократит возможность произвольных вариаций смысла и улучшит понимание.

Чтобы некоторое количество организмов, N , могло на Земле обитать, им необходим определённый объём, V , земного *пространства*, а большинству наземных организмов, в том числе людям, необходима также площадь, S , *твёрдой поверхности*, для собственного размещения. Чтобы пояснить потребность именно в *пространстве*, заметим, что многие виды организмов обитают в водной тоще, не нуждаясь в физи-

ческой поверхности для своего размещения. Обратим внимание на тот кардинальный факт, мимо которого все учебники биологии проходят, его не замечая: тело человека, бактерии, комара, акулы – всё это тоже обитаемые объёмы земного пространства, заполненные живым содержимым. Иными словами, наши тела можно и даже необходимо рассматривать как “жилища” нулевого порядка с собственными значениями V и S . Как эти величины для бактерий, комаров, акул и людей вычислять, – вопрос другой.

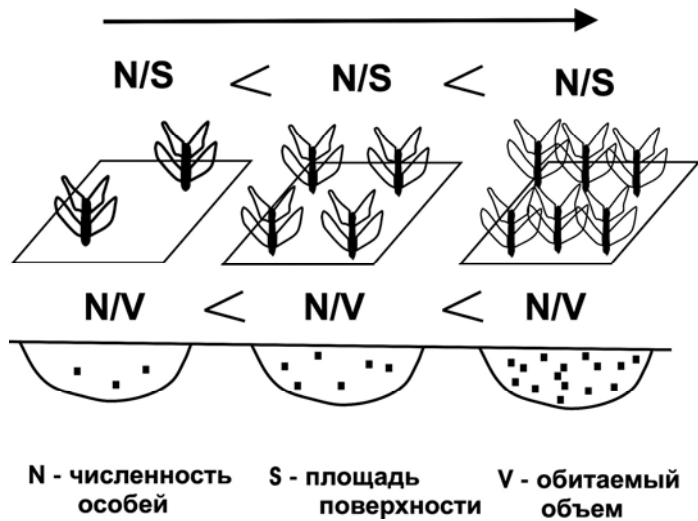


Рис. 3.6. Схема разных вариантов плотности обитания организмов на поверхности и в объёме.

Три величины – N , V и S позволяют ввести понятие *плотности обитания*. Выразим её как соотношения N/V и N/S . Здесь и ниже (но лишь в границах этой лекции) S – это поверхность природной почвы, пола в помещении и т.п. Двум дробным величинам соответствуют два бытовых понятия – “скученность” (высокие значения N/V и N/S) и “разреженность” (низкие их значения). Рис. 3.6 схематически иллюстрирует разные плотности обитания особей в объёме V и на площади S . Плотность обитания можно выразить не только через значения численности, N , но и через общую массу, W , группы особей: W/V и W/S .

В ряде случаев обитания главные жизненные функции – питание, рост, размножение – максимально обеспечиваются. Однако, в природе часты ситуации, когда условия жизни неблагоприятны: не обитание, а жалкое существование. Живые организмы могут мигрировать в более благоприятные места, но нередко вынуждены остаться на плохом месте. Тогда их жизненные функции не достигают оптимума, а могут привести и к вымиранию. Люди же создают себе обиталища разного порядка и аналогичные для домашних животных. Тысячелетний опыт содержания в неволе сельскохозяйственных и других животных позволил выработать нормы обитания также и для одомашненных.

Допустим, жилищная норма обитания для голубей в голубятне – 1 птица весом 300 г на 1 м³ объёма помещения ($N/V = 0.3 \text{ кг/м}^3$). Не зная нормы, мы поселили 15 голубей в помещении 10 м³, т.е. на 5 птиц больше нормы ($N/V = 15 \cdot 0.3 / 10 = 0.45 \text{ кг/м}^3$). Если голуби живут в голубятне постоянно, а выпускают их редко, то при плотности 0.45 кг/м³ они могут часто болеть. Заметив это, внимательный хозяин примет необходимые меры – либо сократит количество голубей в помещении, либо ста-

нет чаще проводить уборку, либо чаще птиц выгуливать. Самым неудачным решением голубятника было бы применение лекарств без попытки улучшить условия обитания. По такой же логике люди поступают и по отношению к самим себе. Допустим, в комнате площадью 50 м² размещается 10 работников ($N/S = 0.2$ чел./м², т.е. 5 м² на человека, что превышает норму). Разумный начальник не станет кормить сотрудников лекарствами, а приведет плотность обитания к норме, а в качестве срочной меры улучшит условия обитания другими способами; их существует немало.

В мире растений все то же самое. Пригодного на грядке места мало, семян редиски посеяно много. Тогда растения скучиваются, значения N/S и N/V , а соответственно W/S и W/V , т.е. корней редиски в почве повышаются. Бывает и наоборот – низкая плотность населения. Встает вопрос: не существует ли для разных живых тел природных норм их обитания, “жилищных норм” для редиски на грядке, для комаров, воробьев, лис, волков, зубров, слонов, а также для первобытных, пещерных людей?

Можно ли сравнивать природные нормы обитания у растений в совершенно разных экологических условиях, например, у одноклеточных водорослей в морях и у лесных фиалок, у берёз в долине реки и у горных сосен? Во сколько раз нормы обитания различаются у фиалок и сосен, у морских водорослей и огурцов? Нельзя ли предположить, что у высших растений природные нормы обитания могут быть ниже (потому, что у них более совершенная “энергетика” и “эффективность” жизни, как учебники биологии нас почему то уверяют), чем у растений низших, примитивных? Наконец, возможен и совсем странный вопрос: *не существует ли в природе общих для всех живых существ законов и норм обитания?* Казалось бы – живи, как хочется, без сковывающих свободу правил!

* * *

Как следует из вышеизложенного, логика обитания не пуста. Как минимум, она приводит к вопросам, ответов на которые учебники биологии и даже экологии не дают. Но не переходит ли разговор об обитании, обитаемых пространствах и эволюции обиталищ в некую “философскую” плоскость, что экологам вовсе не обязательно? Напротив, в дальнейшем будут показано, что параметрический подход к обитанию дает возможность рассматривать обитание (а соответственно и обиталища разного рода, и их эволюцию) в общенаучных терминах.

Но не значит ли это что классическая (в терминах “среды обитания”) интерпретация обитания в терминах “организм-среда” устарела? Хотя не все утверждения концепции “окружающей среды” сохраняют свою ценность до сих пор, два разных подхода к обитанию на Земле позволяют видеть и понимать его шире и глубже, чем каждый подход в отдельности.

Лекция 3.3. Обитание: присвоение земного пространства и владение им

1. Закон присвоения земного пространства растениями
2. Биоэкологическая специфика обитания на фоне закономерного тренда

1. Закон присвоения земного пространства растениями

Жизнь особи стартует с некоторого минимального состояния, которое по тем или иным критериям можно считать первичным жизненным состоянием. Первичным в онтогенезе обычно называют яйцеклетку или спору. Обитание всегда начинается в материнском теле: появившийся зародыш растёт, **присваивая себе часть материнского пространства и запасая в нем питательные вещества**, необходимые на ранних этапах его самостоятельной, уже вне материнского тела, жизни. Обозначим объем дочернего тела символом V_n . **Рост, сопряженный с обитанием в земном пространстве, можно считать первичным экологическим процессом.** Починяется ли он каким либо законам?

Один из них биологам давно известен. Он соблюдается у всех без исключения организмов и записывается следующим образом:

$$V_n = aW^b, \quad (1)$$

где V_n – прижизненный индивидуальный объем живого тела, W – сухой вес тела.

Простейшая геометрическая форма любого живого тела – шар. Сила тяжести прижимает его к структурированной твердой поверхности. Сфера становится эллипсом, нижняя поверхность которого адаптивно принимает форму этой поверхности. Правильно будет сказать, что первичная матрица **отпечатывается на живом теле**, т.е. переносит на него часть своей информации. Тело эту информацию фенотипически принимает, а затем может генетически наследовать при участии естественного отбора.

В ботанике растением считается только его тело. Экология же рассматривает растение вместе с некоторой частью свободного пространства в составе кроны. Крона – это Био, захватившее отмеренную по массе организма часть косного Гео (воздух или воду). На рис. 3.7 показана верхняя часть кроны зонтичного растения. В состав кроны входит группа соцветий, обычно имеющих форму, близкую к конусу. Соцветия разного возраста имеют разный размер. Их можно разложить в размерный ряд, и для каждого конуса вычислить его геометрические и экологические характеристики. В рамках этой лекции нам важно знать индивидуальный геометрический объем всех соцветий-конусов и площадь проекции, S , каждого зонтика на горизонтальную плоскость (площадь его “места на Земле”), а также индивидуальную массу W . Это дает возможность вычислить объемную концентрацию “живого вещества” в каждом зонтике и в общем объеме кроны: $C_w = W/V_{n+1}$.

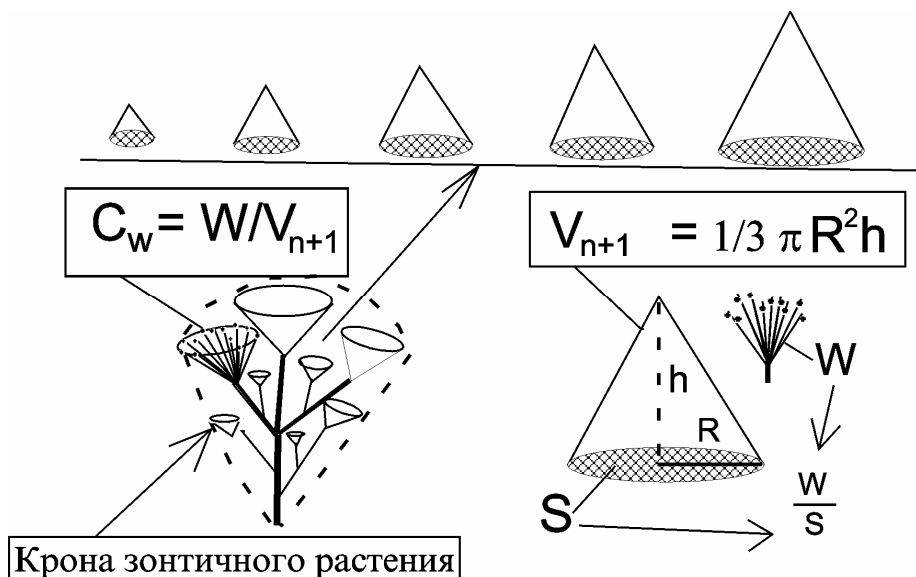


Рис. 3.7. Схема строения (архитектоника) травянистого растения с соцветиями типа “зонтик”. Штриховой линией очерчена крона. Форма отдельных соцветий с массой W аппроксимирована фигурой конуса. В верхней части рисунка – размерный ряд перевернутых конусов, дно которых (заштриховано) может рассматриваться как площадь поверхности S , занимаемой на Земле каждым зонтиком растения. V_{n+1} объем надтелесного пространства. Другие пояснения в тексте.

Обратим внимание на кардинальный факт: определенному объему земного пространства непременно соответствует столь же определенное, минимальное количество жизненных, в том числе пищевых ресурсов. Понятно также, что по мере роста живого тела, а с ним и соответствующей надтелесной Био-Гео системы, увеличивается и количество содержащихся в обитаемом объеме жизненных ресурсов.

Основной интересующий нас вопрос сформулируем так: является ли соотношение между индивидуальной массой зонтиков разного размера и объемом надтелесного пространства, которое они занимают, случайным, или их соотношение следует какой-то закономерности? Опустим все необходимые стадии работы над такой задачей, и приведем результат (графики на рис. рис. 3.8). Из рис. рис. 3.8 *a* следует, что с увеличением (ростом) растения и всех его зонтиков надтелесный обитаемый объем увеличивается следуя уравнению:

$$V_{n+1} = a (W)^b, \quad (2)$$

где $b > 1$.

При $b > 1$ прирост объема V_{n+1} обгоняет прирост массы W (крутизна кривой на рис. рис. 3.8 *a* увеличивается)*. Иными словами, по мере роста растения и его структурных частей **происходит расширяющаяся экспансия “живого вещества” в свободное пространство**. Важно отметить, что в пределах данного вида растений численные значения коэффициентов *a* и *b* в уравнении (2) иные, чем их значения в уравнении (1); на конкретных примерах это будут показано в лекции 5.3.

* Такой «экспансивный» рост возможен до достижения объектом (отдельным зонтиком или растением в целом) его дифинитивного значения.

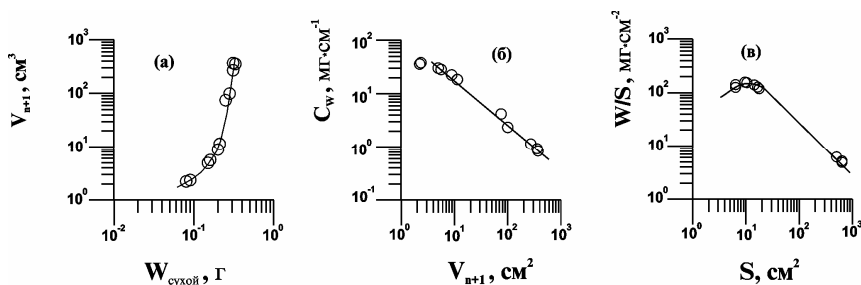


Рис. 3.8. Соотношения геометрических и экологических параметров в размерном ряду “зонтиков” (Рис. 3.7). а – объема обитаемого надтелесного пространства зонтика (V_{n+1}) и его сухой массы; б – объемной концентрации (C_w) сухого вещества зонтика и объема обитаемого пространства; в – концентрации вещества зонтика на единицу поверхности его основания (W/S_0) и площади основания, S_0 (см. рис. 3.7).

Понятно, что если бы рост был неограниченным, экспансия “живого вещества” в свободное пространство, его захват также был бы неограниченным. Главный Конструктор бытия такой ситуации не допускает: особь каждого вида, всех видов растений в том числе, ограничена разрешенным *дефинитивным размером*, а соответственно – предельной массой W_{\max} и предельным надтелесным объемом, $(V_{n+1})_{\max}$.

Объемная плотность “живого вещества” в надтелесном пространстве, $C_w = W/V_{n+1}$, является одной из важнейших характеристик обитания всех живых существ, в том числе растений. Это наиболее универсальный показатель “сгущенности”, “плотности заполнения” любого освоенного живым существом пространства – от клеточных органелл до биосферы. Хотя в популяционной экологии величину C_w называют “плотностью популяций”, на самом деле это одна из универсальных характеристик обитания на Земле.

Понятно, что чем выше концентрация живой массы в единице объема обитаемого пространства, тем большая работа требуется для доставки в этот объем пищевых веществ, необходимых для роста растений. Чем выше C_w , тем больше взаимное затенение растений, ниже скорость роста их массы и меньше урожай. В наземном растениеводстве существуют нормы высева и посадки растений, обеспечивающие оптимальные условия роста и максимальный урожай растений. Одни из известных растениеводческих приемов регулирования плотности обитания – прореживание, прополка растений.

В размерном ряду соцветий-зонтиков значение C_w закономерно снижается (рис. 3.8 б), следуя уравнению:

$$C_w = a (V_{n+1})^{-b}. \quad (3)$$

Снижается с увеличением дефинитивного размера зонтиков (рис. 3.8 в) и плотность обитания “живого вещества” зонтика рассчитанная на единицу земной поверхности (W_n/S).

2. Биоэкологическая специфика обитания на фоне закономерного тренда

Насколько типичны показанные выше графики, характеризующие соотношение V_{n+1} и C_w у растений? Соблюдаются ли такие же соотношения в соцветиях других

видов? Как складываются соотношения V_{n+1} и C_w у водных растений – также, как у наземных, или иначе?

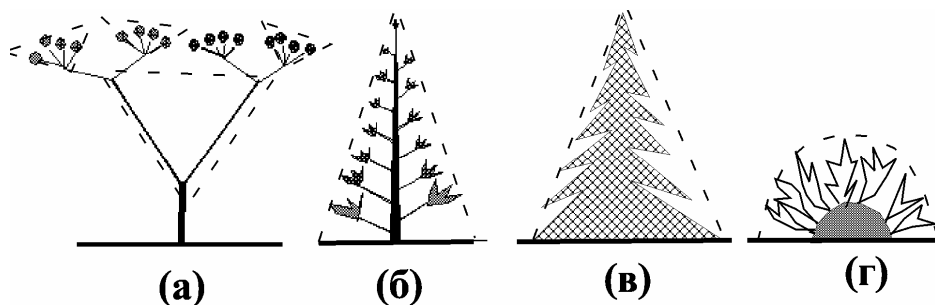


Рис. 3.9. Разные типы растительных объектов надтелесного типа. Штриховой линией очерчены внешние геометрические границы объектов. а – травянистое растение, б – соцветие каштана конского, в – лесная ель, г – подводный валун на морском мелководье, с пологом многоклеточных водорослей.

Понятно, что обитание эволюционно разных биологических видов в разнообразных внешних условиях не может исчерпываться каким-то одним всеобщим законом. Условия обитания участвуют во всех биоэкологических процессах. Любой способ отобразить обитание должен, поэтому, выявить как общие, так и специфические показатели, отражающие биологическую специфику организмов и влияние окружающих условий. Следовательно, ответы на заданные выше вопросы удастся получить лишь сравнивая по тем же численным характеристикам разные, как можно более контрастные таксономические и экологические группы растений.

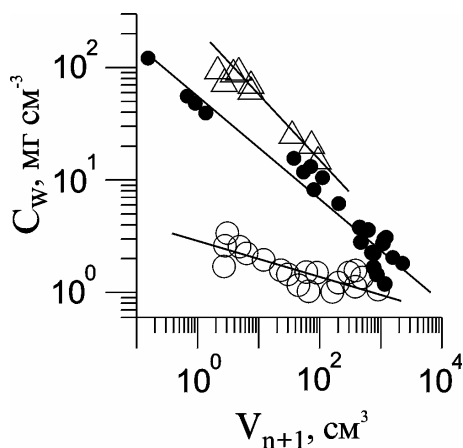


Рис. 3.10. Соотношение объема и объемной концентрации “живого вещества” растений (C_w) в надтелесных обитаемых пространствах (V_{n+1}) соцветий разных видов растений: скумпии (○), чертополоха (Δ) и каштана конского (●).

На рис. 3.9 схематически показаны два типа соцветий – типичное для травянистого растения – укропа (а), для соцветия дерева – каштана конского (б), для кроны целого дерева – ели (в); показан также подводный полог многоклеточных водорослей, растущих на поверхности валунов в морской бухте (г). Каждый может вспомнить, как причудливы формы, размеры и строение соцветий; известно и разнообразие форм крон деревьев. Подводные заросли многоклеточных водорослей в морях и высших водных растений в озерах и реках также встречались многим.

Поскольку растительные объекты надтелесного типа (рис. 3.10) изучаются давно, морфометрические сведения имеются о самых разных группах растений. Осо-

бенно подробно исследованы, в том числе методами геометрии, внешняя морфология и архитектура сельскохозяйственных растений, растениеводческих покровов (Росс, 1975; Тооминг, 1977), деревьев (Карманова и др., 1987), а также морских многоклеточных водорослей (Празукин, 2000, 2005, 2007, 2008).

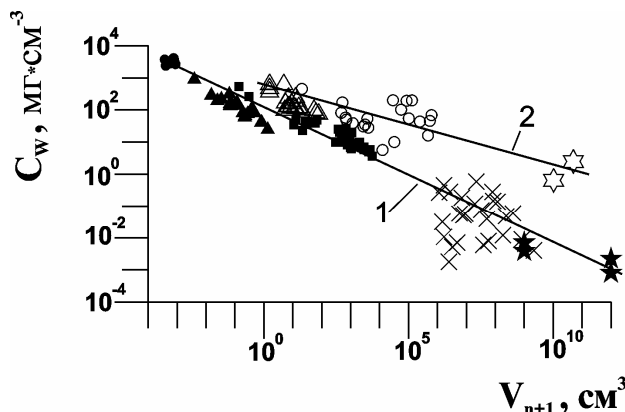


Рис. 3.11. Соотношение объема и объемной концентрации “живого вещества” растений в обитаемых пространствах разных телесных (ткани морской водоросли цистозир (●) и надтелесных (все остальные объекты) фитосистем: ветки цистозир (▲), целые слоевища цистозир (△), полог цистозир на морском дне (■), полог лугового травостоя (○), озера с фитопланктоном (X), сообщества фитопланктона в фотическом слое Черного моря (★), яблони в их кронах (☆).

На рис. 3.11 диапазон сравниваемых размерных рядов еще шире. Здесь представлены ткани морской многоклеточной водоросли цистозир, её сложно организованные ветви в занимаемом ими объёме воды (V_{n+1} , как на рис. 3.7), целые слоевища цистозир в их надтелесном пространстве. Для сравнения с водными растениями на графике показано соотношение V_{n+1} и C_w у наземных травянистых растений (пологи луговых трав) и молодые яблони в объеме их крон.

Из рис. 3.10 и рис. 3.11 следует, что соотношение (3) соблюдается в самых разных типах надтелесных фитосистем. Применительно к отдельному растению и к его периферическим надтелесным структурам (побегам, веткам, соцветиям) **обитание состоит в закономерном присвоении и расширении обитаемого пространства с находящимися в нём пищевыми ресурсами, во владении и использовании этого пространства на протяжении времени жизни, включая получение потомства (у растений – семян).**

Сопоставляя графики видим, что на фоне единообразного тренда линии регрессий расположены под разными углами, т.е. каждая группа объектов занимает в метрическом поле свое собственное положение. Следовательно, отображение обитания растений на общенаучной основе не приводит к потере ценной информации, отражающей биологические особенности объектов и условия обитания. Дисперсию по отношению к закономерным трендам можно интерпретировать как отражение разнообразных условий в местообитаниях отдельных объектов каждого размерного ряда.

В последующих лекциях обитаемые пространства, их присвоение и использование растениями, животным и людьми будут обсуждаться шире, на разных мерах и на разных уровнях организации биосферы.

Лекция 3.4. Обитание, как присвоение земной поверхности (Всеобщая собственность на землю)

Закономерное присвоение земной поверхности особями и группами растений

В экологии наземных организмов плотность обитания рассматривается чаще всего в терминах численности особей на единицу земной поверхности, N/S_0 , либо в терминах массы, W/S_0 . У растений W/S_0 это “урожай на корню”, урожай “валовый”, равный полной продукции или кормовой “запас”. Здесь S_0 – площадь занятой горизонтальной поверхности; нижний индекс “о” будет использоваться, чтобы отличать косную земную поверхность от живой внешней поверхности растений, S). В некоторых задачах вычисляется объемная плотность обитания растений, W/V_{n+1} , где V_{n+1} – свободный объем воздуха в дискретном обитаемом пространстве (в пологе сельскохозяйственных растений, в травостое или в кронах отдельных травянистых растений, кустарников, деревьев и т.д.). В водной экологии объемную плотность обитания выражают соответственно в терминах N/V_{n+1} , и W/V_{n+1} . В этой лекции обсуждается вопрос о том, в каких случаях растения распределены на Земле случайным образом, как молекулы газа, а в каких случаях они упорядочены и чем определяется их групповая плотность на единицу занятой ими поверхности.

Закономерное присвоение земной поверхности особями и группами растений

Житейские наблюдения подсказывают, что растения распределены по поверхности Земли поодиночке, случайным образом, группами, или в специально установленном порядке (например, в лесной посадке, в рядковом посеве). Группируются, агрегируются растения также чаще всего случайным образом – размытыми “пятнами”. Деревья и травы, морские и озерные одноклеточные водоросли обычно обитают группами, разного размера. Лес, луг, ковыльная степь, прихотливо перемежаются с относительно свободными участками территории. То же и в водоемах. Распределение бактерий, фито- и зоопланктона в озерах и морях так и называется – “пятнистое”; равномерное распределение клеток – результат локального перемешивания или действия других посторонних сил. Группами обычно селятся также и сидячие донные беспозвоночные. Стаи рыб – обычная форма жизни в водоёмах.

Типичная форма размещения живого вещества на поверхности Земли - дискретные скопления бактерий, растений и животных в виде слоев в воде, пленок на поверхности твердых тел, нередко на поверхности других организмов (эпифитирование).

Начнем с индивидуального обитания. Любой организм, особенно компактное тело животных, занимает определенный объем и имеет зримый контур. Если обводной контур живого тела спроецировать на горизонтальную плоскость, то на ней обозначится некоторая измеримая площадь. Ее можно считать *минимальной площадью (квотой) обитания*, $S_{0(\min)}$. За основу расчета $S_{0(\min)}$ можно принять также индивидуальную массу тела. Приняв удельный вес организма за единицу, приравняем его массу к объёму. Проекция тела такого объема на плоскость позволяет вычислить величину *приведенной площади поверхности обитания индивида*, S . Это **законная первичная квота индивидуальной земной поверхности** (квота первого порядка). Она скоррелирована с массой растения, W , что дает плотность обитания $W/S_{0(\min)}$.

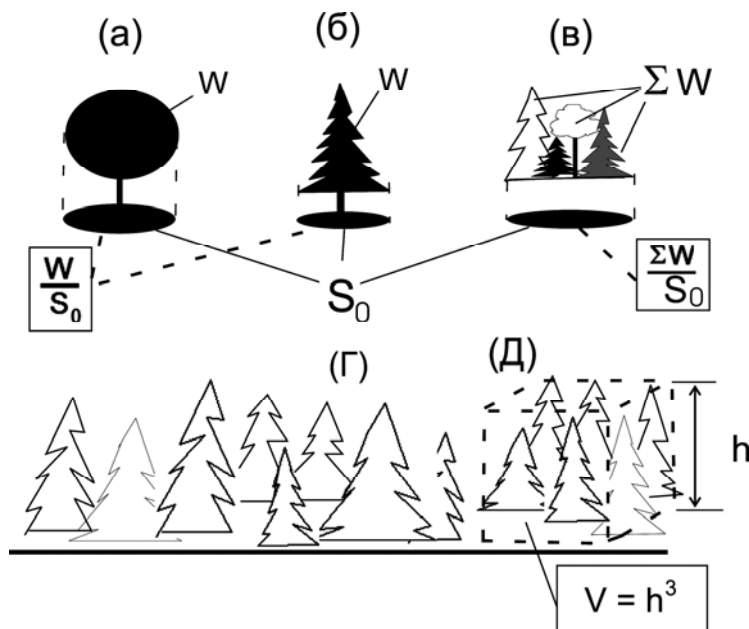


Рис. 3.12. Способы геометрической аппроксимации внешних форм отдельных растений и их совокупностей. Пояснения в тексте.

В отличие от компактного тела животных, обводной контур крон разветвленных растений, или их отдельных частей, обычно отождествляют (рис. 3.12 а – в) с какой либо известной геометрической фигурой – шаром (крона клена), цилиндром (крона кипариса), конусом (крона ели). В большинстве случаев такая аппроксимация дает вполне приемлемые результаты. Если это необходимо, форму растения можно представить как комбинацию разных геометрических фигур. Такой подход не прост, но позволяет с достаточной точностью описать в численном виде любое сложно расчлененное растение какого угодно размера (примеры см. ниже).

Крона, как физический, а одновременно биогеоэкологический объект представляет собой скопление “живого вещества” в ограниченном объеме пространства. Каждой кроне соответствует её проекция на поверхность земли (рис. 3.12 а – в). Площадь S_0 проекции кроны является ещё одной важной численной характеристикой. Это **законная вторичная** (второго порядка) **квота земной поверхности** для каждого отдельно взятого растения.

Понятно, что в природе немало случаев, когда затруднительно сразу определить, что именно у растения можно назвать кроной, или его аналогом. Такие случаи требуют специального рассмотрения, но в задачи *Школы* это не входит.

Большая часть растений на Земле обитает группами, занимающими большие территории или акватории. На суше такие группы растений образуют естественные и рукотворные (на сельскохозяйственных угодьях и в лесных посадках) пологи (Рис. 3.12 г). Каждый полог имеет характерную для него среднюю и максимальную высоту и может быть охарактеризован кубической высечкой из него (рис. 3.12 д), со стороны, равной средней или максимальной высоте, h , растений, что и даст характерное для такого объекта значение W/S_0 , соответствующий объем обитаемого пространства V_{n+1} с массой растений W и площадью S_0 равной квадрату высоты полога.

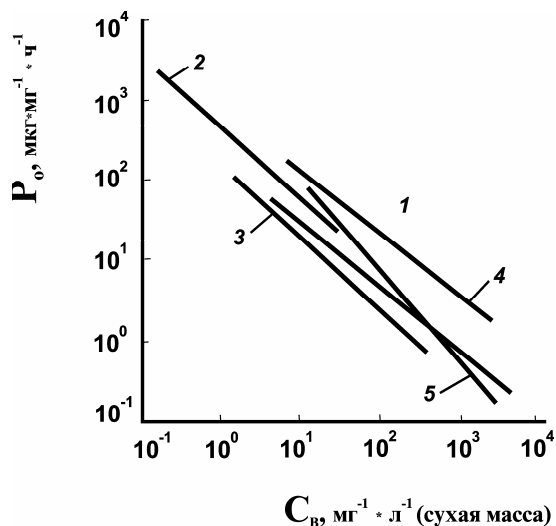


Рис. 3.13. Связь интенсивности гетеротрофного накопления угле-
рода глюкозы с концентрацией жи-
вой массы в популяциях отдельных
видов морского фитопланктона в
условиях культур: 1 – *Prorocentrum*
micans; 2 – *Cymnodinium lanskaya*, 3
– *Gyrodini* sp., 4 – *Cymnodinium*
kovalevskii; 5 – *Cymnodinium foli-*
aceum.

Причину группового распределения организмов следует искать в их жизни, в физиологическом функционировании. Естественно предположить, что в группе жить экономичнее, с меньшими затратами жизненных ресурсов, чем поодиночке (бытовы-ми наблюдениями это подтверждается). Жить экономичнее – значит обходиться меньшим притоком пищевых веществ.

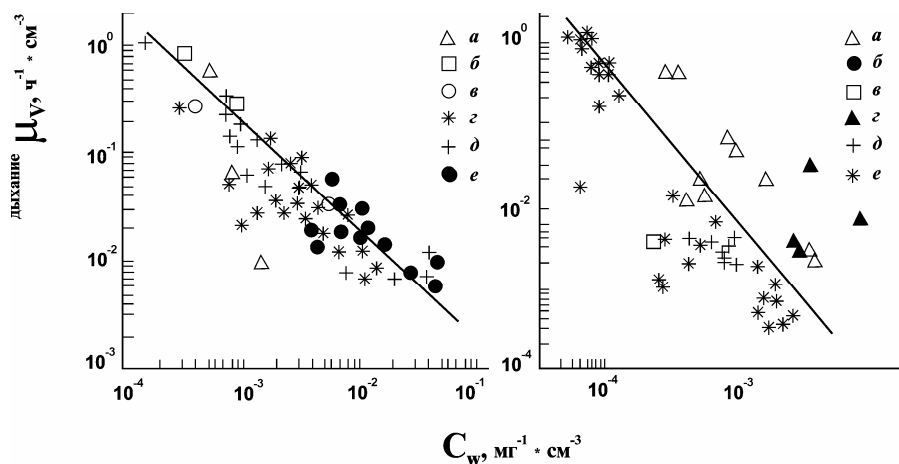


Рис. 3.14. Связь интенсивности дыхания (μ_v) водных животных и концентрации живого вещества (C_w): А – в онтогенезе акарии, а – яйца, б – науплии I – III стадий, в – науплии IV – VI стадий, г – копеподиты I – III стадий, д – копеподиты IV – V стадий, е – взрослые самки Из: (Хайлов и др., 1999).

На рис. 3.13 показано снижение интенсивности органотрофного питания клеток разных видов морских одноклеточных водорослей с увеличением плотности популяции, т.е. групповой массы в единице объема ($C_w = W/V_{n+1}$, на абсциссе графика). В среде обитания клеток имеется избыток питательных веществ. Тем не менее, интенсивность питания ($\mu_w = dW/wt$) с увеличением объемной плотности обитания

снижается. Чем плотнее группа, тем на более экономный режим питания она переходит (как некоторые насекомые и даже теплокровные животные при сильном похолодании сбиваются в плотную кучу, чтобы снизить траты энергии на внутренний обмен веществ, жить экономичнее).

На рис. 3.14 поведен пример аналогичного соотношения у морского зоопланктона, склонного к стайному поведению (акарция на разных стадиях онтогенеза и роста). С увеличением объемной плотности обитания (W/V_{n+1} , а соответственно и W/S_0) интенсивность дыхания разных жизненных форм акарции снижается.

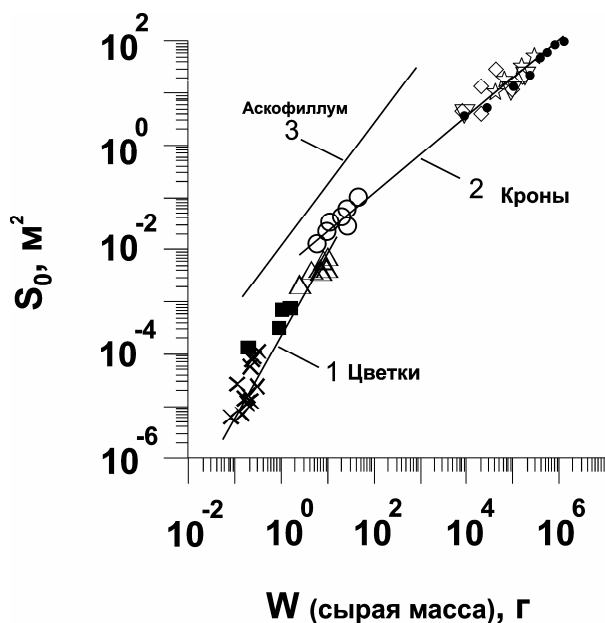


Рис. 3.15. Здесь показано соотношение между индивидуальной массой тела (W) и индивидуальной площадью обитания (S_0) морских водорослей – аскофиллумов (линия 3), а также отдельных цветков и соцветий наземных растений (линия 1). На линии 1 показаны: мелкие цветки разных полевых растений (X), цветки акации ленкоранской (Δ), соцветия тысячелистника (\blacksquare), кроны крупного травянистого растения – медвежьего уха (\bigcirc). Линия 2 обобщает кроны древесных и травянистых растений. Отметим, что кроны травянистых растений оказались на пересечении линий 1 и 2. Примечательно также, что слоевища донных имеют площадь обитания примерно на порядок большую, чем наземные растения с такой же индивидуальной массой. Данные по кронам деревьев любезно предоставлены А.И. Уткиным.

С самого начала своей жизни клетка занимает наследственно полученную от родителей крохотную часть (квоту) земного пространства и ресурсов в нем. Объем клеточного пространства соответствует массе “живого вещества” в клетке. По мере роста группа живых с общей массой ΣW **присваивает** все новые и новые площади земной поверхности и “владеет” ими; отмеренная по групповой массе площадь обитания S_0 становится **законной собственностью группы особей** (закон присвоения свободного земного пространства жизнью, а также его важные следствия подробнее и на разных примерах будут обсуждаться в следующих лекциях).

Научные данных по многим экологическим группам растений показывают, что площадь обитания любого отдельного растения, S_o , определяется его индивидуальной массой:

$$S_{o \text{ индивид}} = f(W_{\text{инд}}). \quad (1)$$

Для группового обитания справедливо аналогичное равенство:

$$S_{o \text{ группы}} = f(W_{\text{группы}}). \quad (2)$$

На рис. 3.15 показано соотношение S_o и $W_{\text{инд}}$ на трех примерах. Линия 1 обобщает кроны травянистых растений (медвежье ухо) и деревьев разного вида, размера и возраста. Линия 2 обобщает отдельные ветки и соцветия разных полевых растений. Линия 3 показывает аналогичное соотношение в ряду слоевищ морских многоклеточных водорослей. Как видим из графика, между тремя группами растений и их органов имеются явные различия, отражающие их биологические особенности. Соотношение S_o и $W_{\text{инд}}$ удовлетворительно описывается степенным уравнением:

$$S_{o \text{ инд}} = a (W_{\text{инд}})^b. \quad (3)$$

Какие групповые растительные объекты можно взять для проверки выражения (2)? Это водные и наземные экосистемы с низшими и высшими растениями. Дискретные экосистемы типа леса, поля с пшеницей, или кукурузой. Это также травяной луг, небольшое лесное озеро с кувшинками и мелкой ряской на поверхности воды, морской залив с фитопланктоном и плантацией ламинарий и т.п. (рис. 3.16). Равенству (2) соответствует аналогичному соотношению S_o и W , (3).

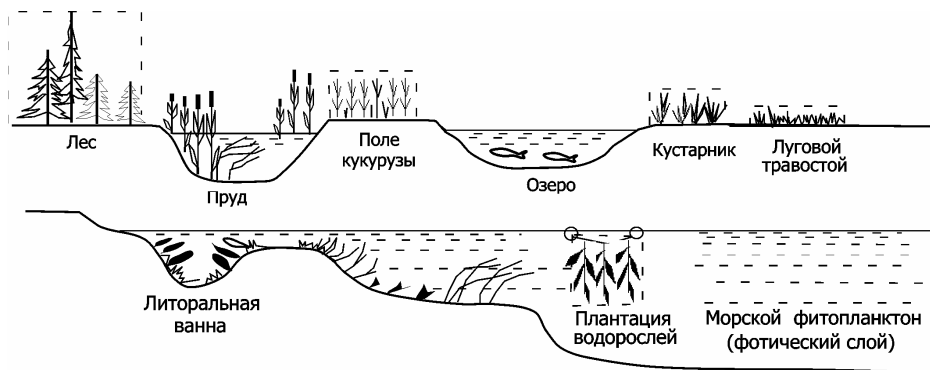


Рис. 3.16. Схема, показывающая ряд наземных и водных биокосных фитосистем. Все они имеют занимаемую ими площадь земной поверхности и общую массу обитающих на ней наземных или водных растений. На рис. 4.2 будет показано соотношение этих величин в размерном ряду таких объектов.

График на рис. 3.15 показывает, что хотя природный “закон наделения земель” (уравнение 3) един для всех, соблюдается он с учетом как биологических особенностей организмов (тренды на рис. 3.15 различны, соответствуя численному значению коэффициентов уравнения), так и разнообразию условий обитания, называемых в биологии “внешними факторами”.

Вопрос о нормах обитания, о владении землей в ее почвенном облике, о собственности на нее, имеет огромную социальную, практическую важность в повсе-

дневной жизни. Он важен и в сельском хозяйстве: какова оптимальная плотность размещения растений на грядках, на полях, а животных на фермах, в вольерах для уток и кур и т.д.? Ответ дает людская жизнь. Однако, нормы людской жизни и жизни в природе всех остальных существ (а они на Земле главные – это уже бесспорно) очень различаются. Главный Конструктор предусмотрел всеобщий закон владения Землей, наделяющий особей всех видов, а заодно и групп особей, законной нормой площади в биосфере Земли. Людская природная норма отмеривается по тем же правилам, что для всех остальных - для пятнышка плесени на гниющем яблоке, для кузнечика, для ели и березы в лесу, для кочана капусты на огороде, для тигра и слона в джунглях. **Любое значимое превышение отдельным человеком или группой людей природной величины площади обитания, говоря формально, является незаконным.** К этому надо относиться с пониманием.

В этой лекции речь шла только о самых общих принципах “наделения земельной собственностью” обитателей биосферы. Правил обитания, относящихся к разным аспектам жизни, известно множество. Людские правила исходят из принципа превосходства, главенства человека над всеми остальными. Людские правила с природными общего имеют мало. Свои правила жизни и обитания люди познают с детства и до старости, изучают их в школах, в университетах, на улице, работая в различных учреждениях, на транспорте, всего не перечислить. Почти во всех последующих лекциях тема обитания останется в числе важнейших.

Формы, общие правила и природные нормы обитания

Введение в тему

Во всех учебниках по экологии сообщается, что эта наука изучает отношения между организмами и средой обитания. Однако, исконное название экологии (oikos – жилище, обиталище, дом) обязывает ее изучать, прежде всего **жилища, обиталища, дома**, а затем уже и отношения между обитателями и между ними и окружающей средой.

Мы взяли три учебника конца XX и начала XXI века по биологии для школ средней ступени Украины и России (Общая биология, 1987; Общая биология, 1987; Кучеренко и др., 2001), российский учебник по биологии для университетов (Биология, 2001), два известных учебника по основам экологии (Одум, 1975; Федоров, Гильманов, 1975) и украинский словарь-справочник по экологии (Сытник и др., 1994), и ни в одной из этих книг (в перечнях основных понятий и терминов) не обнаружили коренных понятий экологии – **дом, жилище, обиталище**. Не обнаружили в них и соответствующих производных понятий – **обитать, обитание**. Понятно, что нет в этих учебниках и справочнике по экологии и соответствующих текстовых разделов.

О поисках жилищ и их сооружении в природе, об условиях, которым, обиталища “диких” должны удовлетворить, о том, по каким нормам они свою “жилплощадь” в природе отмеривают, учебники биологии и экологии ничего не рассказывают. Между тем, у “культурных” существ приобретение жилищ, их благоустройство, наполнение их всякой всячиной, боязнь жилища или домашнего баракла лишиться, ремонт и повседневное улучшение и расширение жилья – не половина ли это людских жизненных забот и удовольствий, включая самые интимные, необходимые для продолжения жизни в ряду поколений? Почему бы не задуматься: **не так ли важен жилищный вопрос и в жизни “диких” существ, как в жизни людей?**

Классический, подход к обитанию в терминах “среды обитания” дал и продолжает давать науке ценнейшие результаты. На страницах бесчисленных стандартных учебников научная классика подробно излагается, но без выведения каких либо “общих правил” и даже, без продуманного объяснения самого феномена обитания (что для развитой экологии удивительно). Факториальный поход будет, вероятно, совершенствоваться и дальше. Это хорошо, но в этой *Школе* обитание выглядит иначе.

В четвертой теме на параметрической основе будут обсуждаться разные формы природных и рукотворных, наземных и водных обиталищ высших и низших организмов с учетом сопутствующих условий жизни, которые так бесконечно разнообразны, что ни в сказке сказать, ни пером описать. Постепенно будут открываться и разные природные нормы, и общие правила обитания.

Лекция 4.1. Обитание растений на тверди, подводной и не только

1. Обитание в небольших водоемах и на подводных камнях
2. Обитание на любых дискретных телах
3. Обитание в воде и на суше в масштабе биосферы

Одно из коренных понятий в биологии – “среда обитания”, она же, если не внутри, “окружающая”. Однако, что “окружающая среда” окружает, никому не известно. В нее входит весь спектр космических “внешних факторов”, в том числе все солнечные и лунные влияния, а Солнце и вовсе – главный источник жизни на Земле. Следовательно, границы так называемой “окружающей среды” простираются до Луны и Солнца, а затем уходят в дурную бесконечность.

Природные переменные из дальнего космоса и из солнечной системы варьируют независимо от потребностей большинства организмов. Дальне “факторы” заставляют всех живых существ к ним, в меру возможного, приспосабливаться. Напротив, антропогенные “факторы”, локально тоже варьирующие, в целом зависят от людей, ими и порождаются. В пределах людских жилищ, в местах работы и отдыха “внешние факторы” максимально людьми регулируются и благоприятствуют. Существ “диких” изменяющиеся условия жизни побуждают к длительным или эпизодическим миграциям в поисках приемлемых мест. Растения не бегут по земле, но зато во множестве рассеивают по ветру и водам свои летучие и плавучие семена, успешно находя пригодные жизненные условия. На благодатных землях, водах и почвах бактерии, растения и животные подбирают себе или сооружают укромные убежища, жилища, следуя своему размеру и специфичным для обитателей потребностям.

1. Обитание в небольших водоемах и на подводных камнях

На верхней морской литорали, особенно на твердых породах, видны заливаемые водой *литоральные ванны* – углубления с объемом воды в диапазоне примерно от 1 до 1000 литров (рис. 4.1 б). Вода в них регулярно обновляется, а донные обитатели остаются. Гладко отшлифованное постоянными волнами дно этих ванн местами или сплошь заселено донными водорослями. Общая масса водорослей, в том числе многоклеточных и довольно крупных, определяется в каждой ванне ее размером. Чем больше размер, объем ванны, тем больше средний размер слоевищ макрофитов на ее дне.

А вот другой пример. Местом обитания для тех же морских водорослей часто становятся лежащие на дне камешки, камни и валуны. Чем крупнее камень, валун, тем, как правило, крупнее поселившиеся на нем слоевища макрофитов (рис. 4.1 а). Бывают, надо сказать, и исключения: ламинария оплела своими ризоидами небольшой камень, целиком его захватив, и сильные волны переносят это кочующее растение вместе с камнем. Но это бывает не часто; обычно размер прикрепившихся растений примерно соответствует размеру выступающего из грунта камня. Также обстоит

дело и с замшелыми камнями в лесах, с покрытыми пятнами лишайников камнями в поле, на склонах гор и т.д.

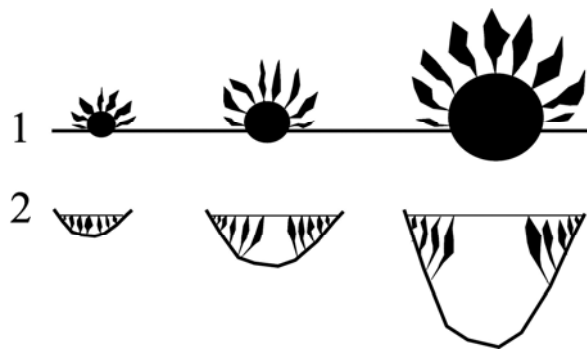


Рис. 4.1. Два типа водных биокосных систем в размерных рядах. 1 – подводные камни и валуны с населяющими их водорослями. 2 – литоральные ванны с населяющими водную массу донными водорослями. При том, что в первом ряду на рисунке 1 “домом” служит как бы вода, а во втором – камень, нельзя не заметить сходства рядов по их внешнему облику. Случайно оно, или закономерно?

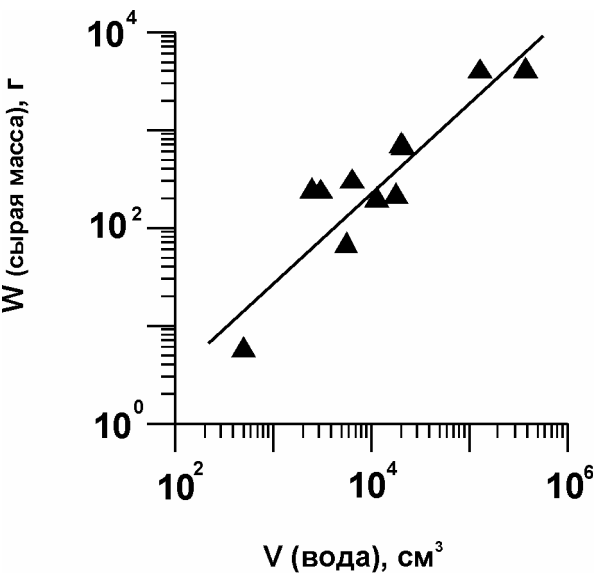


Рис. 4.2. Соотношение объема (V) литоральных ванн и общей массы (W) донных многоклеточных водорослей в них. Баренцево море.

Сравним два эти варианта, поставив вопрос: имеется ли между обитанием макрофитов на дне литоральных ванн и их обитанием на отдельных камнях, лежащих на обширном морском дне, существенное сходство, или преобладают различия?

Чтобы найти ответ, ряды заселенных водорослями ванн и камней разного размера необходимо сравнивать между собой по одним и тем же характеристикам. Чтобы сравнение было корректным, заросли водорослей в ваннах и на камнях должны быть климатическими, т.е. с предельной общей массой. Задача состоит в том, чтобы определить соотношение между сходными характеристиками обитания: объемом (V) воды в ваннах и общей массой (W) водорослей и индивидуальным объемом разных камней и общей массой водорослей на них. Сравним будем объекты из Баренцева и Черного моря, весь комплекс климатических “факторов среды” в которых контра-

стно различен. Отметим, что виды макрофитов в литоральных ваннах Баренцева моря и на камнях в Черном море тоже не одинаковы. Это еще более убеждает в различии условий обитания на двух сравниваемых рядах объектов.

На рис. 4.2 показано соотношение V и W в литоральных ваннах Баренцева моря. На рис. 4.3 видим аналогичное соотношение на донных камнях в Черном море. В Черном море были взяты два ряда камней – обросшие бурой водорослью цистозирой (линия 1) и обросшие зеленой – энтероморфой (линия 2). На рисунок 4.3 (обитание на камнях) для сравнения перенесена с рис. 4.2 линия, отражающая обитание макрофитов в литоральных ваннах.

Как видим, соотношение V и W (три линии на рис. 4.3) следуют общей закономерности: общая масса обитателей определяется, прежде всего, геометрическим объемом главного носителя – воды в ваннах и камней на открытом морском дне. Соотношение V и W описывается уравнением:

$$W = a V^b \quad (1)$$

Коэффициент b это численная оценка степени подобия сравниваемых объектов по двум избранным параметрам. При $b = 1$ все объекты подобны по W и V . Отклонения значений b от 1 отражает закономерно возрастающее в ряду геометрическое различие членов каждого ряда. Коэффициент a – масштабный; он показывает значение W при $V = 1$ (при разных единицах измерения V коэффициент a принимает разные значения).

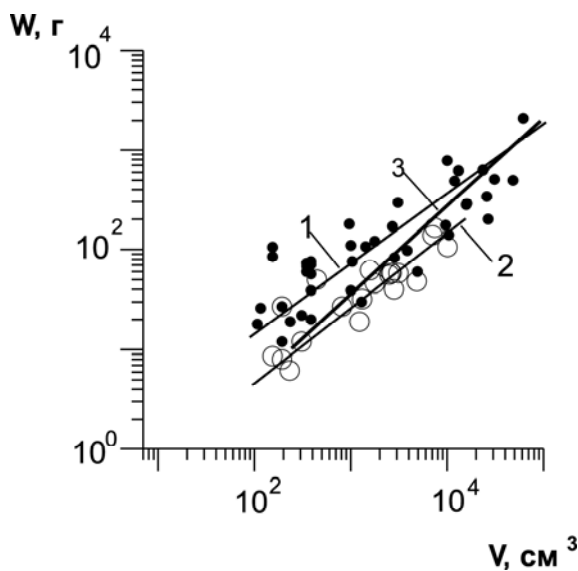


Рис. 4.3. Соотношение между объемом (V) донных камней и валунов и общей массы (W) многоклеточных водорослей, обитающих на их поверхности.

Линия 1 – камни с цистозирой (Черное море); линия 2 – камни с энтероморфой (Черное море). Линия 3 – водоросли в литоральных ваннах Баренцева моря (линия перенесена для сравнения с рис. 4.2).

Таким образом, по одноименным численным характеристикам (V и W) различия между обитанием многоклеточных водорослей на камнях и в литоральных ваннах могут считаться незначительными, тогда как по всей совокупности абиотических и биотических “факторов среды” в Баренцевом и Черном морях два эти типа экологических объектов различаются многообразно и существенно. Общий закон обитания соблюдается; его отражают тренды и уравнение (1). Разнообразие внешних условий в обоих случаях отражает дисперсия. Дисперсия обязана адаптациям водорослей к локальным “факторам”, говоря иначе – к внешним переменным. Тренды

частными “факторами” не определяются. Они заданы Главным Конструктором бытия и к механизму отбора отношения не имеют.

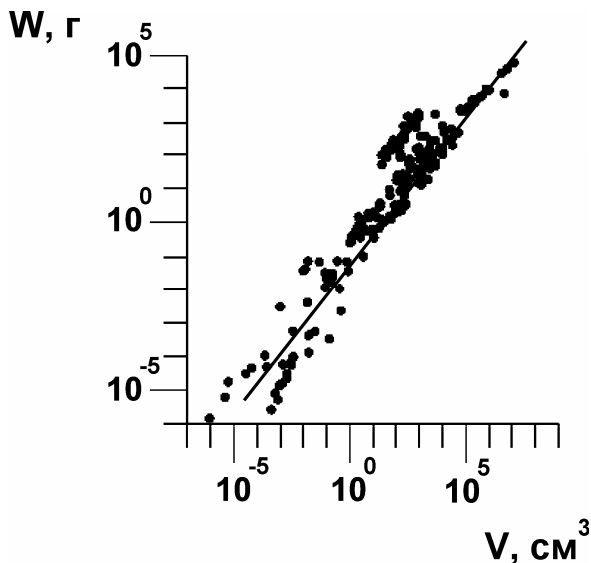


Рис. 4.4. Соотношение геометрического объема (V) носителя и живой массы (W) организмов, населяющих поверхность твёрдого тела или водный объём.

Обобщённая выборка включает: цистозиру и энтероморфу на подводных камнях и валунах – все объекты из Черного моря; ламинарию на подводных камнях и валунах (Баренцево море) и мхи на камнях во влажной долине (Крымские горы); эпифитное обрастание из диатомовых и нитчатых водорослей на слоевищах фукусов (Балтийское море) и аналогичное обрастание на слоевищах цистозеры (Черное море); бактерии на частицах дерновой почвы и диатомовое обрастание на частицах песка и мелкого гравия; диатомовое обрастание на керамических конусах. Подробности см. в книге: (Хайлов и др., 2005, с. 136, рис. 7.2).

Пример с литоральными ваннами, и заселенными камнями ярко выражает суть понятия “биокозные системы”. Это, говоря словами В.И. Вернадского, “**естественные тела**” Природы, которые всегда характеризуются сбалансированным соотношением косного вещества (твёрдого или жидкого) и живого, т.е. совокупной массы обитателей. А вопрос о том, как следует называть “среду обитания” в двух рассмотренных случаях (неземное обитание или водное?) теряет смысл. Обитание высших растений с корнями в почве тоже нельзя назвать однозначно: какое оно – наземное, подземное (почвенное) или воздушное? Авторы учебников по биологии обычно концентрируют внимание учащихся на различии “факторов” в трех названных средах, а главные закономерности обитания (на рис. 1 – 3 показана лишь одна из них; о других – в дальнейшем) полностью игнорируют.

2. Обитание на любых косных дискретных телах

Понятно, что два небольших ряда обитаемых объектов не могут служить основанием для широких экологических обобщений. Однако, заселенность дискретных твердых и водных природных тел бактериями, одноклеточными и многоклеточными водорослями, а также прикрепляющимися к твердому субстрату животными (в основном низшими, мелкими) давно и многосторонне изучается биологами и экологами при любых комбинациях “факторов среды”. Численные данные такого рода неоднократно обобщались в научной литературе. Во всех случаях, соотношение (1) удовлетворительно соблюдается, при том, что ему сопутствует определенная дисперсия значений W – следствие в основном биологических различий обитателей (трендам на

рис. 4.3 соответствует различие численных значений коэффициентов в уравнении для обитания на камнях разных видов водорослей).

Чтобы составить более широкое представление по обсуждаемой теме, обратимся к рис. 4.4. На нем собраны данные о соотношении объема самых разных твердых тел и живой массы их обитателей, относящихся к разным таксономическим и экологическим группам. В эту обширную выборку входят поселения бактерий на почвенных частицах, одноклеточных водорослей на частицах морского песка, нитчатых водорослей на мелкой морской гальке, а также разных видов макрофитов на камнях и крупных валунах Черного и Баренцева морей. Общий размерный ряд твердых обиталищ охватывает 14 порядков по геометрическому объему. Из рис. 4.4 следует, что по параметрам W и V твердые “частицы” разного размера, также как и живые и косные части биокосных объектов единообразно скоррелированы между собой. По тому же правилу, по которому скоррелированы органы и ткани организмов.

Рис. 4.4 позволяет заключить, что правило обитания в природных биокосных объектах по параметрам W и V для разных групп организмов едино. Аналогичный вопрос, но по гораздо более широкому ряду экологических объектов, будет обсуждаться в следующем разделе.

3. Обитание в воде и на суше в масштабе биосферы

Взглянув на географическую карту, видим, что водные и твердые тела являются не малозначащими (как показанные на рис. 4.1), а наоборот – главными геоморфологическими структурами Земли. Твердые обитаемые тела географического масштаба – это континенты и острова. Несравненно более многочисленны другие твердые тела – валуны и камни разного размера, мелкие окатанные обломки, частицы песка и ила. Природные тела в жидком состоянии (водные) – это океаны, моря, озера, пруды, литоральные ванны и еще более мелкие отдельные. Множества твердых и жидких природных тел, текущие воды и ледники исчерпывают список обитаемых объектов.

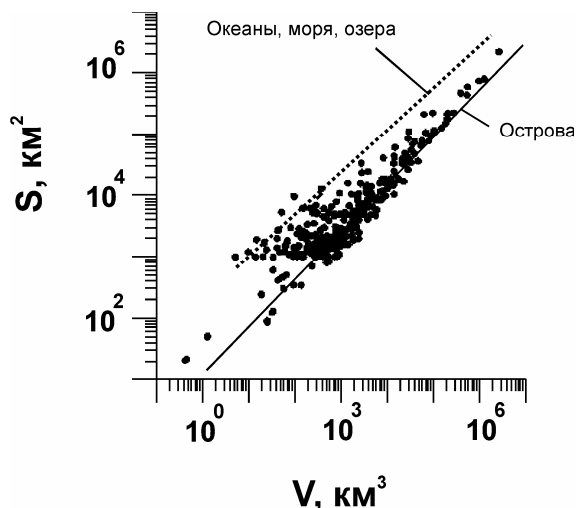


Рис. 4.5. Здесь показано соотношение между индивидуальным объемом V и площадью внешней поверхности S в разменных рядах островов (точки и тренд сплошной линией) и водоемов (штриховая линия). Как видим, регрессии почти параллельны. (Рисунок взят из книги, названной в подписи к рис.4.4).

В предыдущем разделе масса живого вещества обитателей оказалась единообразно, по уравнению (1), связанной в одном случае с объемом жидких тел, а в дру-

гом случае с объемом твердых тел. Нет ли в таком сравнении методологической ошибки, подмены субстрата – носителя жизни? Такой ошибки нет, и вот почему.

У всех тел, твердых и жидких, косных и живых, между их индивидуальным геометрическим объемом V^* и площадью их внешней поверхности S существует закономерное соотношение, соблюдаемое в размерных рядах. В какой мере различается это соотношение в группе косных твердых и косных жидких тел?

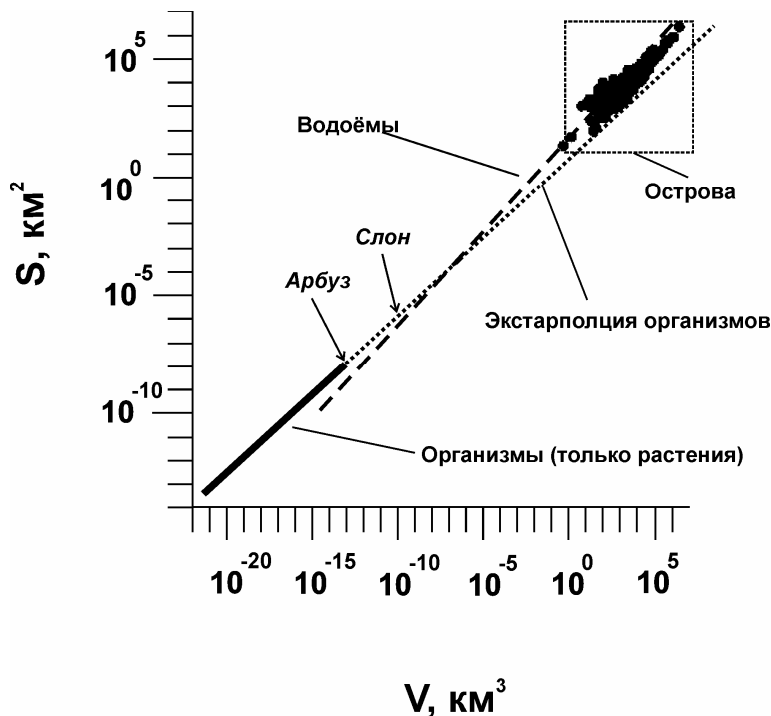


Рис. 4.6. Существует ли связь между морфологией косных тел Земли и морфологией организмов? График на этом рисунке показывает, что главные морфологические параметры (V и S) организмов, островов и водоемов скоррелированы одинаковым образом, что они в этом отношении подобны, а не "принципиально различны". Ничего парадоксального такой вывод не содержит. Все природные объекты подчиняются общим законам природы, в том числе законам евклидовой геометрии. Забегая вперед, скажем, что их геометрическое подобие подтверждается также и современной фрактальной геометрией. Понятно, что по большинству других численных характеристик и качественных признаков организмы и косные водоемы различны. "Принципиально различны"?

На рис. 4.5 это соотношение показано на большой выборке островов**, где V – объем острова выше уровня воды, а S – площадь картографической поверхности

* Поскольку далее в этой теме речь пойдет преимущественно о надтелесном пространстве, обозначающий его нижний индекс $n+1$ при символах V и других будет в целях разгрузки символики опускаться, а использоваться лишь в отдельных случаях.

** Сведения о размерах объектов географического ранга имеются в различных справочниках. В Морском атласе (1980) приводятся табличные данные о площади поверхности и максимальной высоте всех континентов и изученных островов Земли, что позволяет вычислить приближительные значения их индивидуального объема над уровнем воды. В том же издании можно

острова. Единообразное соотношение V и S соблюдается, а частные отклонения выражает дисперсия. Пунктирной линией на рисунке показано аналогичное соотношение в большой группе водоемов. При одинаковых значениях V , значения S у водоемов значительно выше, чем у островов, но закономерность та же.

На рис. 4.6 показано соотношение объема (V) и площади поверхности (S) в глобальном размерном ряду, включающем острова, водоемы и организмы. Из рисунка можно заключить, что в широчайшем диапазоне размеров (37 порядков величин по V и 20 по S) все три группы объектов единообразно следуют известному геометрическому закону о связи объема и площади поверхности тел. Для всего ряда можно записать, что:

$$S = a V^b. \quad (2)$$

Закономерная связь геометрического объема и площади внешней поверхности тел позволяет иллюстрировать обитание, соотнося общую массу организмов как с S , так и с V . Перейдем поэтому к связи массы обитателей с занятой ими поверхностью на Земле, S_0 . Здесь нижний индекс ($_0$) отличает горизонтальную обитаемую поверхность Земли от внешней поверхности (S) обсуждавшихся ранее телесных объектов.

На рис. 4.7 показано соотношение площади зеркала водоемов (S) и общей массы (W) водорослей в них. В кластер 1 входят экосистемы разных геоморфологических зон Мирового океана. Кластер 2 образуют озера Польши и Белоруссии с фитопланктоном, водохранилища Украины с высшими водными растениями. В кластер 3 вошли литоральные ванны с водорослями и их рукотворные аналоги. Как видим, на рисунке охвачены типичные для биосферы водные объекты в диапазоне 19 порядков по их индивидуальной площади поверхности, и в диапазоне 17 порядков по общей массе растений в соответствующих объектах. Соотношение площади S_0 показанных на рис. 4.7 экологических объектов и общей массы обитающих на ней организмов описывается уравнением, аналогичным (2):

$$W = a (S_0)^b. \quad (3)$$

Уравнение (3) соблюдается как в отдельных кластерах водоемов, так и в их генеральной совокупности.

В учебниках по биологии обитание на Земле рассматривается как расселение организмов по географической поверхности, по разным природным средам и локальным биотопам. В качестве основного закона обитания выступают адаптации к среде обитания на основе сугубо биологического закона – естественного отбора.

Между тем, не может быть сомнения в том, что все твердые и жидкие тела биосферы, а также и организмы, подчиняются законам геометрии. Вопрос заключается лишь в том, **в какой мере** общие законы природы (в данном случае только геометрические) определяют один из главных биологических параметров – общую массу организмов на данной территории или в данном объеме и, напротив – **в какой мере** разные обиталища, да и сами организмы, могут отклоняться от строгих геометрических форм. В теме, посвященной методологии науки (лекция 2.3), соотношение закономерных трендов и дисперсии по отношению к ним (“морфологического шума”) обсуждалось подробно.

Рассматривая обитание на разных типах земных объектов, в качестве важнейшего биологического параметра, мы использовали абсолютные значения массы организмов, тогда как в биологии и экологии чаще используются разные относительные оценки плотности обитания (W/S и W/V). Относительная плотность обитания

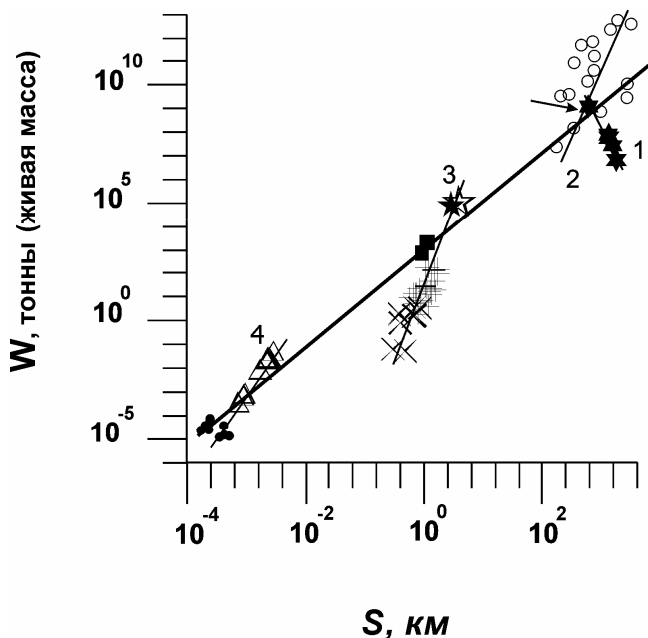


Рис. 4.7. Соотношение площади земной поверхности биокосных фитосистем разного типа (S_0) и общей массы (W) обитающих на ней наземных или водных растений. Линии на рисунке обобщают следующие объекты:

Линия 1: сообщества фитопланктона в разных зонах Мирового океана (★); Линия 2: основные группы наземной растительности – леса, саванны, тундры (○); линия 3: сообщества фитопланктона в озерах Польши (×) и Белоруссии (+), пологи высших водных растений в водохранилищах Украины (■), пологи морской травы zostеры (★), пологи гигантской морской водоросли макроцистиса (☆); линия 4: лабораторные искусственные рифы с диатомовым обрастанием (●), морские многоклеточные водоросли в литоральных ваннах (△). Стрелкой отмечена экосистема морского апвеллинга.

широко варьирует (на графиках образуя обширную дисперсию) в зависимости от разных химических и физических условий обитания. Поэтому оценки в терминах W/S и W/V с большой пользой применяются при изучении различных адаптаций. Тренды же, отвечающие уравнениям (1), (2) и (3), определяются не адаптациями к локальным условиям жизни, а тем, что, **расселяясь по разным геоморфологическим структурам, организмы неизбежно подчиняются геометрии обитаемых земных тел.** Важно помнить, что по своему рангу законы геометрии выше и действеннее законов биологических. Этого факта биологи долго не признавали, что отразилось в учебниках по биологии.

В этом можно убедиться, взяв в руки государственный учебник Украины по общей биологии (Общая биология, 2001). Обитание рассматривается как совокупность процессов расселения и адаптации организмов к факторам окружающей среды. На с. 262 читаем: “Водная среда обитания по своим условиям значительно отличается от наземно-воздушной“. Далее на двадцати страницах эти различия и соответствующие адаптации подробно рассматриваются. Все сказанное в учебнике фактологи-

чески правильно. Мы же обсуждаем здесь совсем другой вопрос. Речь идет о том, что наряду с постоянно и не согласованно изменяющимися внешними “факторами”, существует **мощная, с устойчивыми формами и свойствами геоморфологическая матрица**. Закономерная скоррелированность геометрического объема и площади поверхности твердых и жидких тел с неизбежностью приводит к аналогичной универсальной скоррелированности между Гео и Био. Но об этом общем законе биосферы процитированный выше учебник не сообщает.

* * *

У любых понятий, есть свои недостатки. “Среду обитания” использовать и охранять невозможно. Сколько **мерных единиц** “среды обитания” так необходимой нам биосферы мы уже испортили, и сколько осталось? Ответа нет, и не будет. Охранять, использовать, взвешивать, продавать и покупать можно морковь, капусту и соленые огурцы. Измеримы и управляемы лишь отдельные переменные: температура, кислотность воды, концентрация в почве любых веществ, напряженность разных физических полей и т.д.

У факториального подхода к обитанию есть еще один очень существенный недостаток: требуется изучать огромное количество разных соотношений и зависимостей между организмами и бесчисленными факторами окружающей среды. Во что при этом превращается так называемая “аутэкология”? Она становится *бесконечно большой, неохватный*. Современные наука и образование такого объема, необобщаемых знаний не могут себе позволить.

Изучать обитание в дискретных “выгородках” гораздо проще, удобнее, дешевле, – и меньше потребуются времени. А в школах и университетах меньше понадобится запоминать. Но больше потребуются понимать. При всем том, научные понятия со словами “среда обитания” останутся на своих исконных местах.

Лек. 4.2 Обитание растений друг на друге

1. “Закон Чебуршки” для растений
2. Сходно или различно обитание эпифитов в море и в лесу?

Природа нередко рассаживает своих чад так, как пожелал для себя Чебурашка: ехать на ком ни будь другом, пусть даже без вещей. На крокодилов, бегемотов, буйволов, акул и даже на деревья и травки Природа поселяет своих “чебурашек” по очень простому правилу: на большого сажает весом поменьше, а числом побольше. Вспомним, что по телу бегемотов беспечно бегают крохотные (в сравнении с “хозяином”) птицы и выклеивают насекомых-паразитов, а к акулам присасываются небольшие рыбки и обслуживают “хозяйку”, свою выгоду тоже имея. В учебниках по биологии такие явления выделяются в особую категорию – комменсализм. Но это лишь ничего не объясняющая наклейка. Важно другое: по каким правилам одним организмам разрешается обитать на других?

1. “Закон Чебуршки” для растений

Записывается закон просто:

$$\Sigma W_{1,2,\dots,n} = f(W_0)$$

На этом лекцию об обитании растений друг на друге можно было бы завершить. Однако следует показать примеры и дать необходимые объяснения.

Какие растения *обитаемы*? Да все они обитаемы. Без бактерий, мелких и мельчайших животных на его корнях стеблях, листьях, цветках и на поверхности плодов нет в мире ни одной живой травки, кустика и дерева. В озерах, реках, ручьях крупные водные растения несут на себе аналогичные сообщества мелких и мельчайших организмов, в том числе растений других видов. В морской среде крупные донные водоросли весной, при некоторых условиях особенно, несут на себе другие виды водорослей – одноклеточных и мелких многоклеточных. Словом, обитание растений друг на друге, т.е. эпифитирование – явление для природы закономерное.

Но в чем суть закономерности? Определяет ли закон, каким видам растений можно поселиться на собрате и долго на нем обитать, а каким видам запрещено? Или закон определяет только общую массу поселенцев, соизмеряя ее с индивидуальной массой растения-хозяина? Чтобы не тяжело было? Нет, поскольку тело водорослей в воде почти невесомо. А вот затенять хозяина, снижая скорость его фотосинтеза и роста – это эпифиты, несомненно, могут.

Одна из самых массовых в Черном море бурая водоросль цистозира летом нередко покрывается фиолетово-красным пушком, порослью другого вида – мелкой килянией. Сорвем десяток-два веток цистозеры разного размера, и на каждой отдельно отделим килинию от растения-хозяина. Взвесим живую массу того и другого. Ветки и веточки разной длины и массы образуют размерный ряд. Как в размерном ряду ветвей цистозеры ($W_{\text{хоз}}$) изменяется общая масса эпифитирующей килинии ($\Sigma W_{\text{эпиф}}$)?

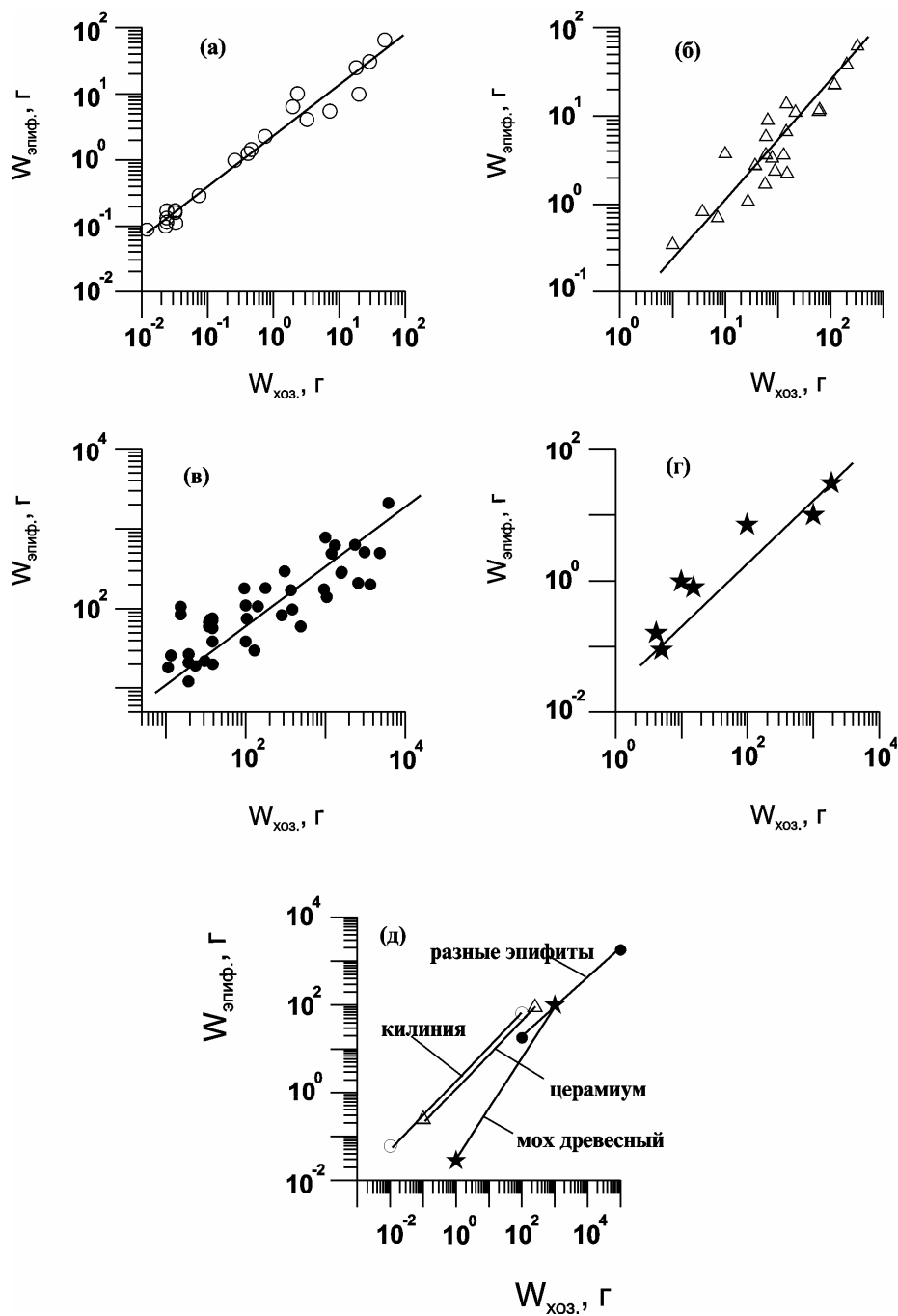


Рис. 4.8. Соотношение общей массы эпифитов ($W_{\text{эпиф}}$) и массы “хозяина” ($W_{\text{хозя}}$). “Хозяином” мелких морских водорослей являются слоевища более крупных водорослей, в данном случае черноморской цистозире. “Хозяином” древесного мха служат веточки деревьев. а, – килиния на цистозире, б – церамиум на цистозире, в – все эпифиты цистозире на ее ветвях, г – мох на веточках дерева. На рис. 4.8 д в общей метрике сравниваются все показанные на рис. 4.8 а – г случаи эпифитирования .

Из графиков на (рис. 4.8. *а*), следует, что между ними существует закономерное соотношение. Функция $\Sigma W_{\text{эп}} = f(W_{\text{хоз}})$ может быть выражена уравнением:

$$\Sigma W_{\text{эп}} = a (W_{\text{хоз}})^b. \quad (1)$$

Уравнение (1) – математическое выражение закона обитания растений друг на друге. Смысл закона прост: **масса эпифита должна составлять закономерную часть массы хозяина**. При $b > 1$ по мере роста ветки масса килинии обгоняла бы массу ветки цистозире; хозяин эпифитов перестал бы расти, и отмер. В данном случае $b < 1$, т.е. по мере роста цистозире, масса эпифитов по отношению к массе хозяина ($W_{\text{эпиф}} / W_{\text{хоз}}$) снижается следуя уравнению:

$$\Sigma W_{\text{эпиф}} / W_{\text{хоз}} = a (W_{\text{хоз}})^{-b}. \quad (2)$$

Еще один типичный эпифит цистозире – церамиум. Килиния, церамиум и другие виды нередко обитают на цистозире совместно. С началом крымского лета на крупных слоевищах-хозяевах появляются молодые сообщества, состоящие из 3-5 видов разных многоклеточных эпифитов. На рис. 4.8 *б* показана корреляция между общей массой церамиума и массой ветви цистозире. Из уравнения (2) следует, что соотношение $W_{\text{эпиф}} / W_{\text{хоз}}$ у церамиума снижается. Те же закономерности проявляются и в группе эпифитирующих на цистозире видов (Рис. 4.8 *в*).

2. Сходно или различно обитание эпифитов в море и в лесу?

Войдя в лес, непременно увидим на стареющих и старых и ветках деревьев, на коре стволов, разных поселенцев. Это могут быть мелкие грибки и крупные грибные наросты, и, конечно же, разного облика мхи. Зрительное впечатление не обманывает: чем дерево или ветка крупнее, чем больше на нем мха. Ребенку понятно: чем любой домашний предмет больше, тем больше на нем пыли, чем больше клумба в саду, тем больше на ней цветов может быть посажено. Какая тут наука? Ответ заключен в значениях коэффициентов *а* и *б* в уравнении (1).

Понятно, что все главные условия обитания в лесу на деревьях и в море на донных водорослях весьма и весьма различны. Могут ли в подводном мире и в лесу действовать общие законы обитания? Авторы биологических учебников даже и вопроса такого не задают, настолько он, вероятно, кажется нелепым. Обратимся, однако, к научным фактам.

Собрав в лесу дюжину веток и веточек любого замшелого дерева, пронумеруем ветки, снимем с каждой весь мох, взвесим его и ветку без мха. Составим из веточек размерный ряд. Из рис. 4.8 *г* следует, что обитание лесного мха на древесных ветках в лесу также подчиняется закону (1) и его следствию (2), которые выше были выведены на материале о морских водорослях. В научной литературе имеются аналогичные данные, показывающие, что в мире наземных растений закон (1) действительно соблюдается.

Подчеркнем, что законы нисколько не умаляют важности условий жизни. Кроме общих законов в природе действует множество переменных “факторов”. Для любого хозяина потенциальный эпифит просто “внешний фактор”, Но у хозяина свои потребности, а у эпифитов другие и Природа, т.е. Главный Конструктор, их согласует.

Согласований всегда немало. В самом деле, длительному обитанию предшествует поселение спор или зародышей эпифита на поверхности слоевища другого вида. Поверхность потенциального хозяина может быть гладкой, ребристой, покрытой ворсинками и не каждый вид может на ней поселиться. И напротив, клетки некоторых видов эпифитов имеют на поверхности клейкие вещества, облегчающие прикрепление спор к поверхности хозяина. А бывает и так: споры поселятся, а вид-хозяин может споры эпифита тем или иным путем оторгнуть, не дать им развиваться. В таком случае закон (1) не поможет, но и не отменяется. Поможет взаимная адаптация.

Наблюдая сожительство разных видов растений, обитание одних на других, нельзя не задаться вопросом: является ли такое явление взаимно выгодным (комменсализм), или оно выгодно только эпифитам, а хозяину приносит вред (паразитизм)? Надо сказать, что в реальной жизни хозяин и эпифит всегда в чём-то (или в какие-то периоды жизни) друг другу полезны, а в чём-то (или в другие периоды жизни) становятся помехой. Например, можно предположить, что покрытые молодыми листьями веточки деревьев мало пригодны для поселения и роста мхов. И, напротив, когда ветки стареют, теряют листья, кора начинает шелушиться, мхи на них успешнее закрепляются и растут, а вреда старым веткам не наносят. Более того, мох может способствовать гниению и распаду дряхлых веток и удалению их со ствола дерева. В таком случае мох становится одним из санитаров леса. Мхи, в свою очередь, имеют на старых ветках не только надежное место для прикрепления и жизни, но и используют продукты разложения ветвей. На молодых веточках такого источника питания мох иметь не может.

Понятно, что формы обитания растений гораздо более разнообразны, чем о них было рассказано выше. Примечательно уже то, что морские водоросли, которые эпифитируют на других видах, охотно селятся также и на камнях, лежащих в прибрежных мелководьях. Виды с мелкими слоевищами охотно заселяют крупные раковины живых моллюсков. Наконец, в сообщества, формирующиеся на стареющих ветках крупных деревьев в тропических лесах, входят самые разные группы организмов, от бактерий до обезьян. Распространятся ли и на всех живых существ закон, выраженный уравнением (1)?

* * *

Основное уравнение обитания эпифитов на их хозяевах по параметрам $\Sigma W_{\text{эпиф}}$ и $W_{\text{хоз}}$ (1) и его следствие (2) – не более чем методологический инструмент биолога и эколога. Ценность инструмента всегда состоит в том, чтобы облегчить понимание природного явления. Дать явлению звонкое научное название – “эпифитирование”, “комменсализм”, “паразитизм”, или какое то иное – дело отчасти полезное, но ничего, по сути, не дающее. В начале XXI века для объяснений нужна не наклейка с латинским корнем, а причинно-следственное объяснение этого широко распространенного в природе и важного явления. Оно и было найдено.

Лекция 4.3. Обитание в норах, гнёздах, коконах

1. Мало изученные экологические объекты в водной, наземной и почвенной средах
2. Соотношение между объемом обитаемого пространства и массой “живого вещества” в нем

Первая лекция этой *Школы* начиналась с обзора объектов природы, занимающих огромный диапазон примерно 40 порядков величин, начиная от микроскопических бактериальных колоний с массой 10^{-13} г, до Мирового океана и Земли с массой $6 \cdot 10^{27}$ г. Около 20 порядков из 40 приходится на заметные невооруженному глазу обитаемые системы разного рода от индивидуальных обиталищ, например, норки полевых мышей, до гигантских групповых обиталищ – океанов.

Самый большой “дом жизни” – биосфера. Чуть поменьше – океаны и континенты. Затем идут моря, озера, реки, острова. В учебниках по экологии эти объекты и локальные экосистемы на них – наиболее изучаемые объекты. В учебниках представлены в основном экосистемы географического ранга – моря и большие озера, водоемы, леса, прерии, пустыни, большие реки. На самые маленькие водоемы и острова, а их на Земле больше всего, нет ни ученых рук, ни денег, ни страниц в учебниках. Напротив, на хвастливое, подробное описание в глянцевах журналах собственных роскошных домов, квартир и приусадебных участков хватает всего – рук, типографской бумаги и цветных красок. Все это, по географическим и научным масштабам *ничтожное*, людей притягивает, а Биосфера с ее кормящими Россию и Украину землями, говоря модно, “отдыхает”. После такого их “отдыха” как бы нам не помереть.

Сколько разных рыночно-прикладных наук и денег крутится вокруг “жилищного вопроса”, не знает никто. Почему же экология, задача которой – изучать природные жилища-обиталища, самыми многочисленными из них почти не занимается и в учебниках их нет? В диапазоне размеров от 100 м^2 (средняя площадь жилища “большого” чиновного человека) и до 1 мм^2 (мелкие пятнышки плесни на куске хлеба) находятся миллиарды жилищ мелких и мельчайших организмов, животных (как мы) в том числе. Знающие люди вполне обоснованно предвидят: если нынешний “системный кризис” глобализованного человечества не удастся остановить, то людей потеснят обитатели именно этих миллиардов жилищ. Такие вот, “ничтожества”.

1. Мало изученные экологические объекты в водной, наземной и почвенной средах

Очевидная и понятная причина того, что обширные группы объектов и явлений природы исторически долго оставались неосознанными – присущий людям узкий диапазон сенсорного восприятия мира. Столь же понятна причина избирательной изученности живых существ – людские пищевые предпочтения, побуждающие изучать в первую очередь группы съедобных и доступных растений и животных. Говорилось уже и о том, что групповые размытые множества живых и косных природных тел, частиц, сознание воспринимает несравненно труднее, чем зримо различимые физические и биологические тела с характерными внешними признаками и очертаниями.

Мало изученным до сих пор остается обширный (примерно 10 порядков величин по геометрическому объему) диапазон надтелесных экологических объектов – обиталищ мелких животных – наземных и водных. Всех одноклеточных сразу опустим. Начать можно с мельчайших существ, обитающих в полых стеблях злаков. К мелким относятся, например, долгоносики, выедающие хлебные зерна, а также обитатели семенных коробочек и сочных плодов растений. Это также население жилых ходов и камер под корой и в коре деревьев. Специфические укрытия с их населением находим в почвах. Это обитатели нор, подземных жилых камер, населенных животными среднего размера (кротами, лисами т.д.). Приведем интересную выдержку, из книги об обитании кротов в почвах под пологом леса (Гиляров, Криволицкий, 1985 с. 91): “В тех лесах, где кротов много, площадь их ходов может составлять до трети площади леса, а объем (обитаемого пространства) – до 15% 10-сантиметрового слоя почвы. Ходы сделанные кротами, широко используются множеством лесных беспозвоночных, землеройками и всеми мышевидными грызунами”. Это тот случай, когда понятие индивидуального жилища размывается и образуется обширная жилая, а одновременно и транспортная подземная сеть общего пользования (уж не дальняя ли предтеча людских путевых сетей, временных обиталищ – метрополитенов конца XX и начала XXI века?).

Мало изучены природные групповые обиталища – коконы насекомых, а также кишачие разнообразной жизнью разлагающихся древесные ветви, стволы, корни деревьев. К числу сравнительно мало изученных (численными методами) объектов относятся разнообразные гнезда птиц, дупла, и прочие убежища. Наконец, к обиталищам можно отнести групповые кладки яиц насекомых (в водной и наземной среде), отложенные в общую оболочку, как, например, яйцевые сумки, размещаемые саранчей в почве.

Обитаемые групповые объекты среднего размера (0.5 – 5 м, например, муравейники), практической ценности не представляют. Между тем, по своим биологическим и экологическим функциям малозаметные и малоценные индивидуальные и групповые обиталища аналогичны всем другим, начиная от тел самих организмов (минимальное пространство, занятое “живым веществом”) и до биосферы в целом с ее диким и людским населением. Между тем, в масштабе природы и по роли в природных процессах все обиталища, независимо от их размера и состава обитателей, следует считать одинаково важными, что и понятно: малых по размеру неисчислимое количество, а больших – единицы (океаны), десятки (моря), сотни и тысячи (озера).

В начале XXI естественно задаться вопросом: насколько общими и насколько специфичными являются нормы обитания в разного рода полостях, укрытиях, четко оформленных норах, гнездах и т.п. В ответах на эти вопросы ниже будут использованы те же параметры, что в предыдущих лекциях об обитании.

2. Соотношение между объемом обитаемого пространства и массой “живого вещества” в нем

На рис. 4.9 *a* показана корреляция между объемом (V) гнезда и массы (W) находящейся в нем взрослых птиц, отдельно или с кормимым потомством. Хотя мухоловки, скворцы и горихвостки имеют разные привычки, объем гнезд, а отчасти их устройство, описывается единообразно, в соответствии с уравнением:

$$W = aV^b. \quad (1)$$

Это не исключает возможности, что на взятых отдельно и больших выборках, три эти группы птиц, следуя общей зависимости W от V , будут иметь разные значения коэффициентов a и b .

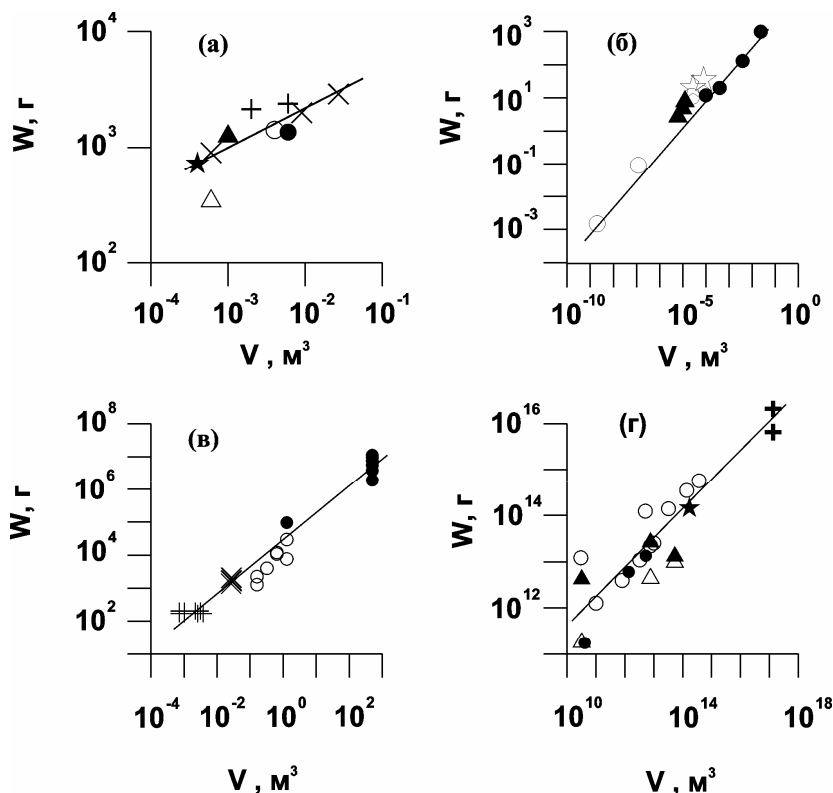


Рис. 4.9. Соотношение разных в биокосных зоосистемах объема (V) обитаемого пространства и массы (W) находящегося в них живого вещества. Рисунок показывает единообразно наблюдаемое соответствие между Гео (земное пространство) и Био (обитатели) в индивидуальных и групповых обиталищах разного типа. Линии на рисунках описываются уравнением (1) см. текст).

а – гнезда птиц с их обитателями: синица (X), зорянка (O), скворец (+), мухоловка (●), камышовка (Δ), горихвостка (★).

б – убежища разных животных с их обитателями: зерно с амбарным долгоносиком внутри, стручок люцерны с долгоносиком внутри, норка домового точильщика с ним самим (O), "кубышки" с яйцами разных видов саранчи (▲), раковина с морским моллюском рапаной (★), норы (●) с мышью, с крысой, с лисицей.

в – разные рыбоводные устройства с их обитателями: отдельные инкубационные рамки с икрой лососевых рыб (X) такие же рамки с икрой, сложенные в группу (+), бассейн с молодь форели (O), выростной пруд с форелью (●).

г – морские обиталища географического ранга: Мировой океан с зоопланктоном и зообентосом (+), разные моря с зообентосом (O), Балтийское море с зообентосом (★), Заливы Балтийского моря с зообентосом (●), Черное море с зоопланктоном (Δ) и с зообентосом (▲).

На рис. 4.9 б сравнивается соотношение W и V в обиталищах разных мелких и среднего размера животных. В выборку вошли насекомые (домашний точильщик, зерновой и люцерновый долгоносики в их убежищах, яйцевые кубышки разных ви-

дов саранчи), мыши, крысы, лисицы в их норах, и морские моллюски рапаны в их раковинах. Зоолог вряд ли стал бы сравнивать с научной целью животных столь эволюционно разных. Однако созданные ими биокосные экологические объекты относятся к одному типу – обиталищам и в этом качестве их сопоставление научно оправдано. Сопоставление на графике показывает, что в один ряд легли жилища организмов, обитающих в средах с существенно разным комплексом “факторов среды” (здесь представлены обитатели моря, почвы и воздушной среды, а также внутренней среды самих живых существ, как нематоды, паразитирующие в полых стеблях злаков – на графике их нет, но есть в природе). Разнообразие частных условий не исключило общего закона обитания – соотношения (1).

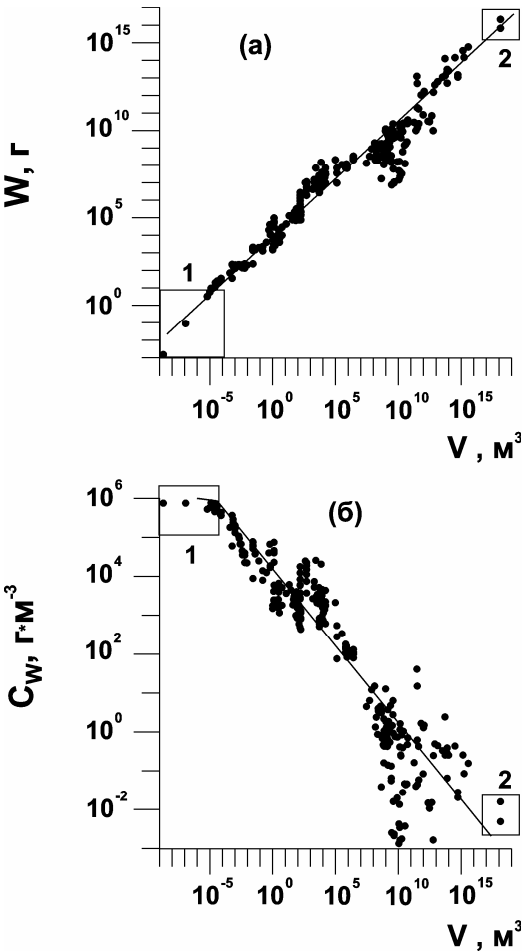


Рис.4.10. Соотношение между объемом (V) обитаемого пространства и массой (W) живого вещества в них. На рисунке обобщены данные о наземных и водных биокосных системах с животными; использованы данные, показанные на рис. 4.9 и некоторые другие. В диапазоне от 10 – 8 (квадрат 1, долгоносики в стручках люцерны) до 1018 м³ (квадрат 2, зообентос и зоопланктон в Мировом океане) объем обитаемого пространства и живая масса обитателей закономерно связаны между собой. Следствием соотношения между V и W является обратная зависимость между V и Cw, т.е. концентрации живого вещества обитателей в тех же биокосных системах (рис. 4.10 «б»).

На рис. 4.9 в представлено соотношение W обитателей и V “жилища” показано в размерном ряду, включающем икру лососевых рыб в рыбозаводных инкубаторах разного типа и размера (отдельные рамки с икрой на сетках и стопки из нескольких таких рамок), молодь форели в бассейнах и форель в нагульных прудах. Эти биокосные объекты также обобщаются одной линией, следуя соотношению (1).

О том, в какой мере соотношение (1) выполняется в природе в целом, и какое место в общем ряду занимает группа биокосных экологических объектов, показан-

ных на рис. 4.9 *а, б, в* (с добавлением других данных по аналогичным объектам), можно судить по рис. 4.10 *а*.

На рис. 4.10 *б* показано другое вытекающее из (1) соотношение между геометрическим объемом обитаемого пространства и объемной концентрацией “живого вещества” в нём. Область, очерченная квадратом в верхней левой части рисунка, соответствует обиталищам самых мелких организмов.

Уместно задать вопрос: можно ли считать обширную (10 порядков величин по V) группу мелких и средних обитаемых объектов недостойной внимания экологов? Несомненно, нельзя. Эти объекты остались вне главного поля зрения экологии в основном потому, что не имеют явного хозяйственного значения. Однако, их значение в механизмах биосферы, в биосферном обмене веществ, не менее значимо, чем для других экологических объектов.

* * *

Из “даров” природы современные “большие” люди, считающие себя еще и “культурными”, превыше всего ценят то, что можно закачать в трубу и продать за бугор. Почти так же они ценят дорогие квартиры. А вот в дикой природе дома и квартиры – дешёвка. Задешево живут все “дикие”, включая даже настоящих Львов и Медведей. Это не к тому, чтобы наши “культурные” хозяева жизни опустились до пещерного уровня, хотя и такое бывает. Это к тому, что всем действительно культурным людям следовало бы хоть полюбопытствовать: по каким *жилищным законам и нормам* живут бактерии, растения и настоящие львы? И живут же миллиарды лет. А у нас до сотни тысяч лет не дошло, и итог уже подводится: “системный кризис” общества потребления, почти треть, которого пищи в достатке не имеет, глодает.

Лекция 4.4. Человекообитание

1. “Жилплощадь в законе”: строительные нормы обитания

Опыт индивидуальной жизни в разных условиях даёт всем живым существам спектр ощущений в диапазоне “пригодно-непригодно” с некоторым средним состоянием, интуитивно воспринимаемым как “нормальное”. В ходе социальной жизни опытом многих поколений вырабатываются интуитивные нормы для домашнего, и трудового обитания. Однако, “жилищный вопрос” у культурных людей, в отличие от “диких” существ был и остается проблемным. Проблем множество, в основном сугубо практического характера, в обход главного – биоэкологической сути обитания (лекция 4.1). Применительно к человеку и его специфической ментальности, коренной вопрос сводится к научному обоснованию “*жилищной нормы*”, т.е. величины жилой площади (S) и кубатуры (V) жилого помещения, необходимых для длительного проживания одного человека в составе семьи со всеми ее функциями, включая деторождение. Рядом с человеком обитают сопутствующие ему дикие и одомашненные животные, а часто и растения. Для хозяйственных животных и растений люди организуют специальные обиталища разного типа и размера с соответствующей “жилплощадью” в них, которая нормируется по людским соображениям.

1. “Жилплощадь в законе”: строительные нормы обитания

Свою собственную норму, плотность обитания люди осознают, прежде всего, по ощущениям тесноты, скученности или, напротив, комфортности в жилом, рабочем или ином помещении. Большая плотность обитателей на занимаемой площади, теснота, приводит к падению работоспособности, ухудшению здоровья, снижению скорости роста, уменьшению рождаемости.

На протяжении тысячелетий люди вырабатывали подходящие нормы плотности своего обитания в помещениях разного типа. К ним добавились многократно выявленные и проверенные на основе медицинских показателей нормы временного пребывания в больницах, санаториях, детских садах, яслях, банях, туалетах. Выработались нормы временного пребывания зрителей в кинотеатрах и концертных залах, в салонах самолетов, автобусов и т.п. В результате появились стандартные, рекомендуемые при строительстве нормы плотности обитания, выраженные ясно и вполне уважительно: N/S (N , чел./м²), или наоборот, но столь же уважительно: S/N (S , м²/чел.).

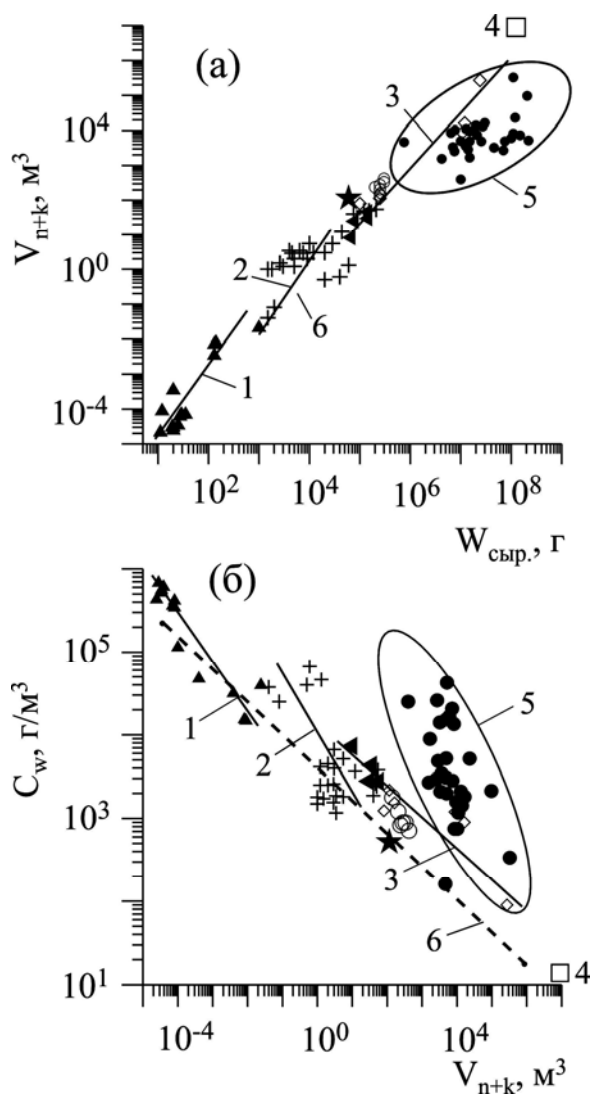


Рис. 4.11 а – Соотношение между общей живой массой ($W_{\text{сыр.}}$) и объемом обитаемого надтелесного пространства (V_{n+k} ; здесь k – номер порядка в иерархии), в которой данная масса находится. Биокосные объекты: кластер и линия 1 – полевые мыши и крысы в своих норах, скворцы в скворечниках, морские моллюски рапаны в своих раковинах; кластер и линия 2 – пчелы в ульях, кролики и куры в клетках, собаки в конурах; кластер и линия 3: 1–3-х комнатные квартиры в городских домах стандартного типа (\blacktriangle); 2–5 комнатные квартиры в домах улучшенного типа (\circ), двухкомнатная квартира с одним жильцом (\star); квадрат 4 – городской квартал, состоящий из пятиэтажных домов, с населением 2500 человек; кластер 5 – коровники на 100–200 коров, свинарники на 200–400 голов, конюшни на 100–250 лошадей, кинотеатры на 400 и 600 мест, городские школы на 600 учащихся. Следствием соотношения между V_{n+k} и $W_{\text{сыр.}}$ является обратная зависимость между V_{n+k} и C_w (рис. 4.11 б). Штриховая линия 6 на рис. 4.11 б обобщает большую совокупность природных обиталищ морских донных животных и рыб. Линия приведена для сравнения с реалиями человеческого обитания в городских условиях. Графические символы на обоих рисунках одинаковы.

В специальных справочниках имеются рекомендованные нормы обитания и для большинства сельскохозяйственных животных: пчел в ульях, овец овчарнях, голубей в голубятнях, скворцов в скворечниках лошадей в конюшнях, для рыб в аквариумах и т.п. Например, в животноводческом справочнике читаем: “на 1 м² пола размещают 5 цесарок или 4 курицы яичных пород или 3 мясояичные курицы, или 1 индейку”. В другом справочнике находим такие людские нормы, например: “площадь спальни на двух взрослых – 12 м², на двух детей – 10 м²”. Имеются рекомендательные нормы обитания также для животных в зоопарках, для домашних кошек и канареек.

Между тем, с физиологической точки зрения оценка плотности обитания в терминах N и S не является наилучшей. В физиологии растений и животных широко известна связь разных функциональных характеристик с индивидуальной массой тела. Необходимый кислород человек потребляет из ближайшего жизненного пространства и в него же выделяет метаболическую углекислоту; то и другое коррелирует с индивидуальной массой тела. Поэтому физиологически правильнее выражать плотность обитания не в терминах N и S, а в терминах W и V. В предыдущих лекциях использовалась величина объемной концентрации “живого вещества”: $C_w = W/V$.

А теперь посмотрим, какие плотности обитания (нормативы) приняты для людей и домашних животных в помещениях разного типа и назначения. Нас будут интересовать соотношения $V(W)$ и $C_w(V)$. В случае группового обитания W соответствует общей массе обитателей в данном пространстве*.

На рис. 4.11 а показано соотношение W и V в жилищах мелких диких животных. В этот кластер (его обобщает линия 1) вошли полевые мыши и крысы в своих норах и скворцы в скворечниках. Линия 2 обобщает мелких одомашненных животных – кроликов и кур в небольших клетках (на приусадебных участках), собак в конурах, пчёл в ульях, певчих птиц в индивидуальных клетках. Линия 3 обобщает 1 – 3-комнатные квартиры с жильцами в домах стандартного типа, 2 – 5-комнатные квартиры в домах улучшенного типа, а также пятиэтажные городские дома с жильцами. Овал 5 обобщает группу в основном животноводческих объектов. Отдельным квадратом (4) обозначен городской квартал с населением в 2500 жителей. Штриховая линия (6) показывает соотношение V и W в большой группе разных видов морских донных животных и рыб в их природных обиталищах. Линию 6 можно рассматривать как текущую, т.е. непрерывно изменяющуюся норму обитания диких животных в естественных условиях. На рис. 4.11 б показано соотношение $C_w(V)$ в тех же группах объектов (номера групп и значки объектов те же, что на рис. 4.11 а).

Сам тот факт, что общая масса обитателей тем больше, чем больше обитаемый объем, тривиален. Не тривиально закономерное соотношение между W и V, которое описывается уже не раз обсуждавшимся уравнением:

$$W = aV^b. \quad (1)$$

Соответственно, концентрация живого вещества закономерно снижается с увеличением обитаемого объема:

$$C_w = aV^{-b}. \quad (2)$$

Сопоставляя положение разных линий в общем метрическом поле, видим, что значения W закономерно возрастают в размерном ряду (рис. 4.11 а), а значения

* В научном контексте этот вопрос подробнее обсуждается в статье (Хайлов, 2003) и в книге (Хайлов и др., 2005).

C_w снижаются (рис. 4.11 б) в виде “лесенки”, отдельными кластерами, “перескакивая” с одного уровня на другой. При этом соотношения (1) и (2) выполняются во всех случаях, при разных значениях угловых коэффициентов b . Из числа городских квартир на линии 6 оказалась только двухкомнатная (38 м²) квартира с одним жильцом (звездочка). У обитающих в клетках и конурах кроликов, собак кур, а также у скворцов в скворечниках и у пчел в ульях плотность обитания выше природной нормы или близка к ней. Особенно далека от природной нормы группа объектов в овале (5); в нее входит крупный рогатый скот, свиньи лошади, а также большая птицеферма. В этот кластер вошли также взятые из строительного справочника нормативы для школы на 600 детей! Природная плотность обитания превышена в этом кластере в 10 – 100 раз.

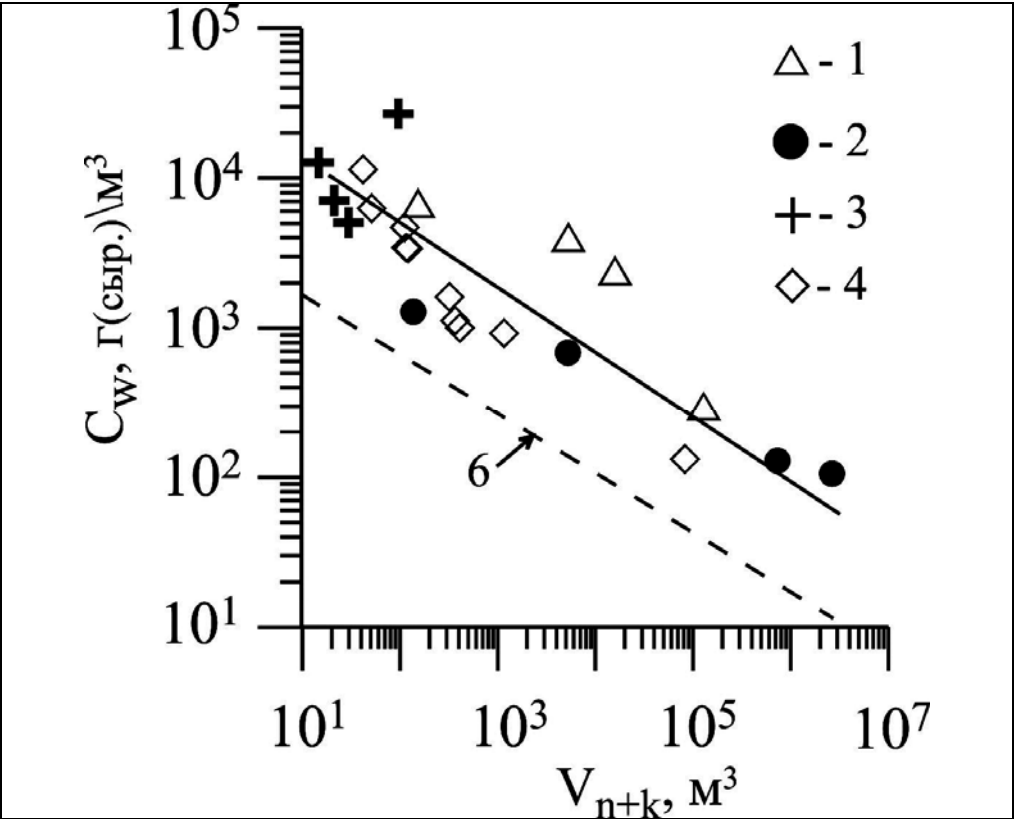


Рис. 4.12. Соотношение геометрического объема (V) жилых помещений и концентрации “живого вещества” (C_w) в них.

Обозначения: 1 - классные комнаты, учебные корпуса, здание школы в целом; 2 – квартиры по 1-3 комнаты, отсеки в жилых домах, городской квартал; 3 – каюты и кубрики маломерных военных кораблей; 4 - корпус детского сада, территория сада, раздевалка, игровая комната, спальня, туалет. Линия 6 под тем же номером перенесена с рис. 4.11 б.

Не является ли ошибочным исключением случай, случай, когда заявленная в справочнике норма обитания детей в школе на 600 мест, соответствует плотности обитанию скота в стойлах? Нет ли данных по реально существующим детским учреждениям? На рис. 4.12 показано соотношение C_w и геометрического объема помещений, V , в зданиях школ и детских садов г. Севастополя в Крыму. На том же графике показаны нормативы для кубриков матросов на небольших судах. Для сравнения по-

казана также реальная плотность обитания людей в разных кварталах Севастополя. Штриховой линией 6, проведенной согласно рис. 4.11 б, обозначена скользящая природная плотность обитания животных в естественных условиях.

Как следует из графика на рис. 4.12, во всех случаях наблюдается превышение плотности обитания в человекообитаемых объемах по сравнению с природной нормой диких животных.

Необходимо, однако, иметь в виду, что совпадение плотности обитания в помещении школы с нормативами для плотности обитания лошадей в конюшнях и коров в скотных дворах, не обязательно должно интерпретироваться как совершенно недопустимое явление, наносящее ущерб здоровью школьников. Школьники находятся в учебных классах лишь небольшую часть дня с регулярными перерывами. К тому же в помещениях такого типа предусмотрена повышенная вентиляция воздуха и частые уборки помещения. Однако, такие соображения явно недостаточны. Оценка условий обитания требует проверенного медицинскими данными объективного подхода с учетом научно доказанных природных норм обитания.

Лекция 4.5. Условия, природные правила и нормы обитания.

1. Биологические представления о “внешней среде” и условиях обитания
2. Дискуссии в XX веке по поводу условий и правил жизни и обитания
3. Необходимость в XXI веке естественно-научного понимания базовых категорий обитания
4. Естественно-научные правила, меры и нормы обитания

Главный целевой вопрос *Школы* прост: какими должны быть правила обитания людей на Земле, чтобы между человечеством и биосферой не возникал и не развивался конфликт? Прост и ответ: правила для людей те же, что и для всех остальных существ – “диких” и, якобы, неразумных. Однако, умные и “культурные” люди тот вопрос не ставили и ответ не искали, полагая, что по праву верховенства на филетическом древе, Земля принадлежит только людям. Значит, им и правила обитания назначать: какие пожелаем, такие и будут. Результат жизни по людским правилам в обход правил Природы видим теперь в глобальном масштабе, а кто по миру не бродит, видит на экранах TV.

Чтобы вопрос о правилах обитания нормально поставить, недоставало мало-го: биологам он был вообще чужд, а экологи слишком долго не отвечали на свой профессиональный вопрос – какой экологический процесс является на Земле главным? В этой *Школе* в качестве главного рассматривается обитание на Земле, в ее биосфере, под ее надежной защитой. Поэтому и вопрос о правилах обитания неизбежно возникает.

В лекциях 4.1 – 4.4 правила обитания (вернемся к ним в лекциях пятой и шестой тем) были рассмотрены параметрически – в терминах V, W, S₀, C_w и других, на примерах с разными группами низших и высших организмов, обитающих в водной и наземной средах.

1. Биологические представления о “внешней среде” и условиях обитания

В биологическом энциклопедическом словаре (1986) читаем: “Абиотическая среда – совокупность неорганических условий (факторов) обитания организмов” (с. 7) и в другом месте – “среда обитания – совокупность конкретных абиотических и биотических условий, в которых обитает данная особь, популяция или вид” (с. 603). В справочнике по биосфере (Реймерс, 1980) находим: “Среда абиотическая – все силы природы, происхождение которых прямо не связано с жизнедеятельностью ныне живущих организмов, включая человека” (с. 155) и там же: “Среда окружающая – совокупность абиотической, биотической и социальной сред, совместно оказывающих влияние на людей и их хозяйство”. Наконец, современный учебник по общей биологии для государственной средней школы Украины (Кучеренко и др., 2000) сообщает учащимся: “Абиотические факторы – это компоненты и свойства неживой природы, прямо или опосредованно влияющие на отдельные организмы или их сообщества (температура, влажность, освещенность, газовый состав атмосферы, соле-

вой состав воды и т.д.)“ (с. 251 – 252). Там же, на с. 249: “Экологические факторы – это все компоненты среды обитания, влияющие на живые организмы и их сообщества”.

Из приведенных определений с очевидностью следует, что абиотическая “внешняя среда”, “окружающая среда” безгранична и включает любые химические вещества и физические поля идущие из космоса, достигающие поверхности Земли и влияющие на жизнь. Понятая так “среда обитания” не является реальным природным объектом, т.е. не имеет собственной массы, внешних границ и конкретной протяженности в пространстве, у нее нет измеримого геометрического объема, ее состав произволен, она не обнаруживает никакой собственной эволюции. Она несистемна.

Вопреки этому в биологии второй половины XX века было широко распространено и поддерживалось советской властью философско-разговорное “учение” о среде обитания* и о “единстве организмов и среды” (Лысенко, 1948), вошедшее в широчайшую учебную и научно-популярную и литературу. В упомянутом выше учебнике по общей биологии оно рекомендуется учащимся XXI века как фундаментально важное “учение об экологических факторах” и “условиях жизни” (Кучеренко и др., 2000, с. 249).

2. Дискуссии в XX веке по поводу условий и правил жизни и обитания

В 50 – 60 годах XX века в отечественной биологии, начиная с агробиологии, остро дискутировался вопрос: регулируется ли развитие и жизнь организмов в основном факторами окружающей среды, или же “внутренними факторами”, т.е. записями в геномах организмов? Представители господствовавшего тогда в отечественной науке так называемого “мичуринского направления” писали: “Чем лучше мы будем понимать взаимосвязь организмов с условиями внешней среды, тем лучше можно управлять организмами, пользуясь возможностями регулирования условий внешней среды” (Лысенко, 1952, с. 348). А поэтому: “Раскрытие закономерностей взаимодействия организмов с условиями внешней среды есть основная задача агробиологии” (там же). В 50 – 60-е годы это утверждение было распространено на всю концепцию жизни и вошло в учебники по общей биологии. В последней четверти XX века успехи молекулярной генетики позволили четко вычленять роль генетических, стабилизированных структур и экологических внешних переменных.

Ставился вопрос об обитании также и в другой плоскости: какая форма обитания – индивидуальная или групповая имеет больше преимуществ? Важность и острота этой дискуссии определялась практической важностью ответа на него: философствовавший в духе марксизма-ленинизма агроном Трофим Лысенко предлагал “прогрессивный”, так называемый “гнездовой” способ посадки и выращивания сель-

* Приведем несколько примеров, поясняющих суть этого важного учения. “Ведь чем отличается живое от неживого? Тем, что живое обязательно и всегда требует – это неотрывно от живого – относительно определенных условий жизни “ (Лысенко, 1954, с. 348). В учебнике по биологии для университетов читаем: “Знание требований, предъявляемых растениями к условиям жизни на разных стадиях, позволяет управлять развитием растения, управлять его жизнью. Вот почему...знание требований организмов к условиям жизни составляет теоретическую основу всех разделов агробиологической науки” (Иванченко, 1954, с. 22.). И там же (с. 48): “Потребность в определенных условиях жизни представляет собой специфическое отличие живой материи от мертвой“ (в обеих цитатах выделено нами – авторы). Философско-разговорная концепция “единства организмов и среды” оставила в истории биологии длинный, вредоносный след и сохранилась в учебниках Украины до начала XXI века.

скохозяйственных растений. Якобы, высаженные небольшими группами, растения, относящиеся к одному виду, оказывают друг другу взаимопомощь, что и повышает урожай. Оппоненты Лысенко, возглавлявшиеся в 50-х годах XX века ботаником, академиком Владимиром Николаевичем Сукачевым, возражали: мировой растениеводческий опыт показывает, что в монокультурах урожай с единицы площади обычно бывает ниже, чем в смешанных посевах и посадках. Сукачев продолжал: то, что можно назвать “взаимопомощью” в смешанных, многовидовых группах растений, обусловлено, прежде всего, метаболическим взаимодействием, которое проявляется тем сильнее, чем в большей мере сообитающие виды различаются по физиологическим и трофическим свойствам. Например, бобовые растения фиксируют азот и частично, выделяют в почву некоторые азотистые соединения, которые усваиваются близко сидящими растениями других видов. Некоторые виды растений особенно тесно сближаются друг с другом своими корнями и, как теперь уже доказано, обмениваться не только внешними метаболитами, но и химической информацией (например, могут предупреждать друг друга о нападении поедающих их насекомых, что ведет к ускоренной выработке “веществ защиты”). Впоследствии многие исследователи, изучавшие внутреннюю среду смешанных сообществ, химические компоненты в ее составе, и метаболические взаимодействия между разными видами растений, подтвердили правоту В.Н. Сукачева.

3. Необходимость в XXI веке естественно-научного понимания базовых категорий обитания

Общие правила обитания базируются на простых аксиоматических утверждениях: Пространство – главное условие существования, размещения и пребывания земного вещества. Проницаемые граничные поверхности – главное место поступления и выделения вещества в дискретные объемы пространства. Время – мера продолжительности пребывания, косного и живого вещества в пространственном отсеке. Важные производные по времени – скорости и интенсивности поступления пищевых веществ в обитаемые пространства и выведения из них токсичных продуктов метаболизма.

О пространстве (V), времени (t) и веществе (W) в серьезных учебниках устойчиво повторяется (но в головы почему то не проникает) мысль глубоко философская, хотя по сути банальная: они (V, t, W), а особенно разные вещества представляют собой главные ресурсы Жизни на Земле. Они бесконечны, но только лишь в принципе, т.е. философски рассуждая. В конкретной жизни все ресурсы конечны, строго отмерены. Однако, философски замороченная голова человеку подсказывает: пространства, времени и вещества бери себе сколько захочешь; они не меряны и не поделены. Задолго до появления людей на Земле, все это было в мире “диких: уже поделено. И людям по тем же нормам главные ресурсы были оставлены. Понять бы, что нормы обитания надо искать в мире “диких” и над ними следует поразмыслить.

Живя на Земле размышляя, каждый может убедиться в том, что пространство, обитаемые поверхности и время всегда разделено на “квоты” – отмеренные самой природой, дискретные и конечные. Физическое тело Земли – это занятая веществом часть вселенского пространства с определенным объемом и площадью внешней поверхности, с собственным, вовсе не бесконечным временем существования. То же относится к любому континенту и океану, морю, озеру, небольшому пруду, дождевой луже, капле дождя. Слон, собака, щука, муравей, клетка бактерии – все это тоже заполненные веществом дискретные пространства со своими временами жизни. И заметим общее правило: время жизни всегда соответствует индивидуальному геомет-

рическому объему, массе размещенного в нем вещества, площади внешней поверхности любого косного или живого объекта.

Казалось бы, зачем все это повторять после стольких объяснений в предшествующих лекциях, где обитание на разных примерах уже обсуждалось? А затем, что в сознании людей сидит, как заноза, навязанная философами мысль, что пространство и время бесконечны, а поэтому жизненными ресурсами они быть “как бы” не могут. Людям близки и понятны только ресурсы бытовые, прикладные, расходные (умная философия отдыхает).

Тема жизненных ресурсов в учебниках упоминается, но всегда мельком, поверхностно без серьезных объяснений. Люди мыслят конкретно и близко к своему телу: ресурсы – это отдельные добываемые, выращиваемые, покупаемые и продаваемые ценности – минеральные, водные, растительные, животные, а еще бывают людские, финансовые и, наконец, самые парадоксальные и антиприродные – административно-политические. Нефть, газ, уголь, чистая вода, органическое вещество почв, живые тела и строительные материалы – все это ресурсы расходные и бери их сколько сумеешь. На каждый вид ресурса, включая самый сегодня ценимый, почти как оружие – административно-политический (миллионы зеленых за пустой звук – голос “в поддержку”), имеются тщательно разработанные правила его трудной добычи из-под земли, заводского или кабинетного изготовления, рыночные цены.

Но скажут нам: “Запасов пространства, поверхности и времени не существует, они никем не изготавливаются, не расходуются и не убывают, а поэтому и правил на их использование никаких не требуется и быть не может”. Вероятно, следуя такой логике в учебниках по биологии и экологии: реальное земное пространство, соответствующая ему земная поверхность и время их существования никогда в перечне жизненных ресурсов не упоминаются*.

Обсуждавшиеся в предшествующих лекциях правила обитания, в разных его формах – это переход от философско-разговорных повествований об “отношениях организмов и среды” (выраженных в самых разных терминах, как каждому писателю захочется**) к универсальному языку науки. Измерение и соотнесение земных численных характеристик (объема пригодных для обитания пространств, поверхностей и других земных ресурсов) между собой позволяет единообразно выразить главные условия обитания со стороны Гео. По той же логике: соотношение главных геометрических характеристик Гео с массой живого вещества и площадью живой поверхности (Био) и другими параметрами позволяет единообразно описывать обитание и жизнь в биокосных системах, в том числе в экосистемах и биосфере.

* Пространство как базовый ресурс упоминается, например, в статье (Watt, 1947) и в книге: (Холинг, 1981). Для В.И. Вернадского фундаментальное значение обитаемого пространства в природе было непреложной истиной уже потому, что пространство – одна из базовых категорий физики.

** Ботаники о ресурсах обычно не рассуждают. Интереснее рассуждать о другом. Например, в целях охраны видового богатства украинской флоры в Украине разработана экологическая мегадисциплина под названием “инвайроментология” (Сытник, 1994). В ее состав входят, в частности, такие, как сказано (Кондратьева, 2002, с.3 – 16), “комплексные научные дисциплины”: “геосозология”, “биосозология”, “созологическая биосферология”, “аутифитосозология”, “синфитосозология”, “генофитосозология”, “созологическая геоботаника” и другие.

4. Естественно-научные правила, меры и нормы обитания

Резюмируя содержание лекций четвертой темы, перечислим основные черты, условия и правила обитания, общие для всех групп организмов при жизни в любой пригодной среде:

1. Основная общая черта обитания всех живых существ тривиальна: каждое живое тело особь или группа особей занимает некоторый объем земного пространства (первого порядка), а ему соответствует некоторый объем пространства второго порядка для самых необходимых движений (второй порядок), за которым начинается посещаемая данным организмом часть общего географического пространства (третий порядок). Не тривиальны, научно важны значения коэффициентов уравнений, описывающих соотношения параметров обитания. Они определяют то, что можно называть текущей нормой обитания (по массе “живого вещества”) для данной совокупности частных, локальных условий; при иных локальных условиях значения коэффициентов уравнений в той или иной мере всегда различаются.

В людской житейской практике обитание чаще рассматривается не в пространстве, а на земной поверхности, называемой “жилплощадью” (основа всегда болезненного “квартирного вопроса”).

2. Величина обитаемого объема, V_{n+1} , закономерно коррелирует с индивидуальной или общей массой W обитателей. В случае, когда внешние границы обиталищ заданы эволюцией косного тела Земли, как в случае водоемов, масса максимально заполняющего их “живого вещества” определяется обитаемым объемом, V_{n+1} :

$$W = a(V_{n+1})^b. \quad (1)$$

Напротив, объем V телесного и ближайшего надтелесного пространства живых существ (телесный объем живых организмов, объём, крон растений, растительных пологов) задается самими организмами. Он определяется индивидуальной массой, W особи или группы совместно обитающих особей:

$$V = aW^b, \quad (2)$$

причем $b > 1$. В таком случае функция $W = f(V)$ приводит к тому, что по мере увеличения массы на участке онтогенеза до достижения дифинитивного размера объекта объем обитаемого пространства увеличивается с опережением. Иными словами, экспансия жизни следует закону расширения обитаемого пространства, опережающего рост массы. Жизнь стремится в окружающее пространство закономерно (В.И. Вернадский). По отношению к людям это означает что с увеличением общей массы человечества, необходимый ему по “норме” (1) и (2) обитаемый объем должен расширяться. Поскольку глобальный обитаемый (биосферный) объём ограничен, ограниченным должен быть и прирост человечества.

3. Дискретные площади земной поверхности, заселяемые жизнью, выделились в ходе геологической эволюции. Например, общая масса “живого вещества” в водоеме пропорциональна площади поверхности, S_0 , его зеркала. Поэтому для геологически выделенных объектов закон природы выглядит так:

$$W = aS_0^b. \quad (3)$$

Напротив, биологически заданная площадь обитания определяется организмами:

$$S_0 = aW^b. \quad (4)$$

4. Поскольку соотношения (1) – (4) неизменно соблюдаются во всех известных случаях, эти уравнения можно рассматривать как законы присвоения “живым веществом” земного пространства и поверхности, а соответственно – владения ими. В таком случае не люди являются первыми изобретателями “закона собственности”, но лишь следуют ему, действующему на Земле исконно. Отсюда вытекают определенные обязанности людей соблюдать чужую собственность по отношению ко всем земным обитателям.

Соотношение (2) выполняется в живых телах по отношению не только к общей массе тела, но также к массе и поверхности отдельных органов (см. Лекции 5.3 и 5.4), как существуют уже обсуждавшиеся закономерные соотношения между объемом тела и площадью его внешней, биологической поверхности, S).

5. С увеличением обитаемого надтелесного объема концентрация живого вещества в нем закономерно снижается:

$$C_w = aV^{-b}$$

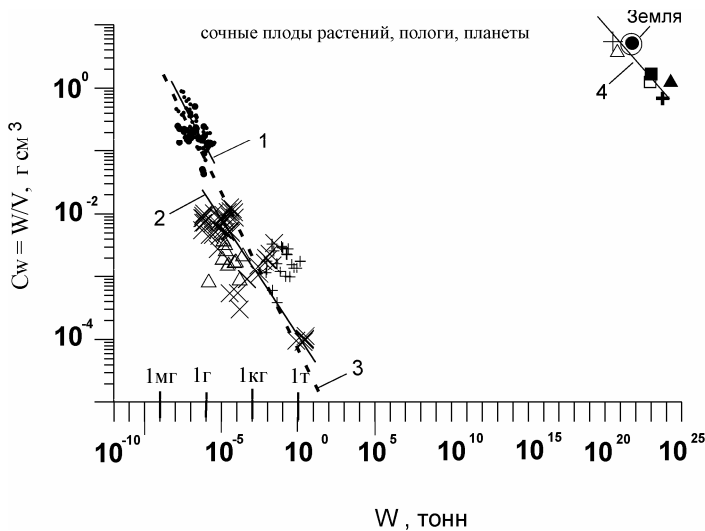


Рис. 4.13. Соотношение концентрации массы и веса объектов: 1 – сочные плоды растений, 2 – растительные пологи (лес, полог кукурузы, полог пшеницы), 3 – штриховая обобщающая линия по названным живым объектам, 4 – планеты Солнечной системы.

Поскольку аналогичный закон проявляется и среди планет солнечной системы (рис. 4.13), можно заключить, что в сфере жизни лишь повторяется вселенский закон существования, бытия природы.

В последующих лекциях тема обитания будут продолжена. Постепенно откроются некоторые правила, действующие на биосферном уровне, в масштабе больших территориальных объектов. Эти правила люди тоже обязаны соблюдать, чтобы не нарушить жизнь биосферы и не навредить, в конечном итоге, самим себе.

Осмысление жизни и биосферы

Введение

“Мировые загадки” (Эрнст Геккель) люди постепенно разгадывали, в основном в науках, называемых точными. Науки, называемые описательными, оказались менее успешными. Биологи прошлого загадки жизни с энтузиазмом искали и были на верном пути, но сбились. Мест сбоя (людских соблазнов) всегда хватало. Хотелось мяса и сливочного масла, мечталось получше одеться и греться не у костра. Древесина быстро сгорела, ближайшие угли выжгли, нефть и газ почти на исходе, надежда пока на атом. Что атом опасен, известно, но думаем – авось обойдется. Едва ли; с Солнцем дружить безопаснее и это уже осознано.

Так как же быть с Жизнью? В чем ее “суть”? Ответа нет. На дворе людской кризис, но ответа опять нет. Так может ни смысла, ни цели у Жизни нет и искать не надо? Но откуда, все-таки, кризис?

Вопрос явно не философский (хотя философы-марксисты все про кризисы объяснили), а сугубо практический, да и *Школа* – книга не философская. Она в основном о Земле. Земля – факт для жизни исходный, базовый, а биологи его обошли. Но подумаем: есть ли смысл и цель у Земли и Космоса? Никто этого, кажется, не предполагает. Тогда почему мы думаем, что смысл и цель должны быть у жизни – явления вселенского (Вернадский)? Если они у жизни и есть, то такие же, как у Земли. Чем это не ответ, на ладони давно лежащий? Ведь не ищут же медики смысла и цели у кашля и насморка, а просто их лечат.

Речь в *Школе* идет всего лишь о том, что Мировые законы, физические и геометрические в том числе, первичнее биологических – удивительных, специфичных и уникальных; на Луне таких нет. Все они безусловно важны, только всего наблюдаемого и важного в земной жизни они не объясняют. Так признаем же это, наконец.

Умные люди со всего мира жалуются: The lack of integrity. Приходится это признавать. Факты показывают, что феномен жизни, как ее понимают биологи (а это их право; поправлять нельзя), имеет продолжения, которые без косной, тупой Земли не понять. Разные продолжения жизни зримо видны в объектах надтелесного типа. Но, как ни странно, рецензенты уважаемого Ботанического журнала авторам написали, что таких там не признают. Возможно.

Косной воды и земли в морях и на обитаемых островах так много, что ученые биологи от них отвернулись, отдали наукам о Земле. Неученые, из деревни, люди прекрасно чувствуют: пока речушка и лесное озерцо чисты,

они живут, а если залить керосином, то умирают. Река и озеро действительно живы, но живут своей собственной жизнью. Люди в деревне живут скромно и им хватает, а о городских они говорят: “Во, жируют!”. Разве это не правда? И не ответ ли это о “смысле жизни”? Авторы думают, что ответы такого рода (а их очень много), как раз в точку. Но чтобы доказать это, простых слов мало. Какие мы знаем, такие в книге и пишем.

Интегративная ось, соединяющая объекты наук о Земле и о Жизни – это уровни организации вещества, энергии и информации. В границах доступной пониманию части бытия, объекты природы были показаны во вселенской метрике в лекции 1.2. Биология всего этого не охватывает. Она сконцентрировала свое внимание на структуре и функциях живых тел, гораздо меньше интересуясь сообществами. Понятия и термины, применяемые для описания уровней организации живых тел, в разных разделах биологии неодинаковы. Это затрудняет, а часто делает невозможным объективное сопоставление закономерностей, присущих разным уровням. Между тем давно назревал вопрос: действуют ли в биологической иерархии общие, “сквозные”, структурно-функциональные правила, или на каждом уровне, например, в клетке бактерии и в стае голубей или рыб, они различны и несравнимы? Биологидарвинисты и философы марксистской выделки полагают, что общим законом и движущей силой эволюции всегда является борьба за существование и естественный отбор, что без них развития жизни не было бы.

В учебной экологии XX века ситуация с уровнями организации оказалась аналогичной, только на теме эволюции экологи не заикнулись. Иерархию биосферы они обычно описывают на пяти уровнях – особь, популяция, сообщество, экосистема и биосфера. Как и в биологии, экологические объекты до конца XX века выражали в терминах, отражающих специфику каждого уровня. Поэтому, как и в биологии, объективно сравнить экологические уровни между собой экологи не имели возможности.

К началу XXI века появилась мало еще осознанная проблема общего земного природоведения: действуют ли в биологической иерархии (от клетки до сложного многоклеточного тела) и в экологической (от популяции организмов до биосферы) общие для обеих правила организованности, или же биологическая и экологическая реальность различны и несравнимы во всех отношениях – в структурном, функциональном и эволюционном? Иными словами, является ли обитаемая область Земли, биосфера, целостно организованной и адаптивно реагирующей системой, или все ее уровни живут согласно их “специфике”, как захотят?

Между биологией и экологией молчаливо лежат противоречия. На них можно закрыть глаза, допустив, что многоуровневая биосфера проста, как игрушка для младшего детского возраста: на вертикально укрепленную палочку свободно нанизаны разноцветные колесики с диаметром чем выше, тем меньше. Колесики малыш снимает, катает по полу, а затем надевает на палочку в любом порядке, как ему захочется. Возвращаясь биосфере: можно ли взрослым людям из Социо произвольно, как захочется манипулировать в биосфере то на уровне Био, то на уровне Гео, то на уровне Социо, то сразу на всех колесиках и по любым параметрам (и утверждать, как делают власти,

что это “разумное управление”, “научный менеджмент”)? А что, если биосферная иерархия реагируют как единое целое? Тогда разумное управление и менеджмент требуют научного знания всей пирамиды биосферных уровней, структурно-функциональной организованности иерархии в целом. Как же тогда людям на вертикалях себя вести? Как простым, из деревни, людям сверху властной рукой водить?

Задавать и дальше вопросы, придумывая иллюзорные ответы, нет никакого смысла. В лекциях пятой темы вся иерархия от биосферы до клетки (хотя можно и наоборот) будет рассмотрена поэтапно. Это удобно сделать, начиная с растения из школьного учебника, но под общенаучным названием “фитосистема”.

Фитосистемы разного уровня изучались сначала в ботанике, анатомии и физиологии растений, затем в разных разделах фитоэкологии, лимнологии и океанологии (растительность водоемов), в экологической биофизике и в ряде других наук. Биофизика охватывает весь ряд косных и биокосных объектов прикладного назначения (Микробиопром, искусственные рифы, см. лекции 6.1 и 6.2, а также: Экологическая биофизика, 2002; The Living Ocean, 1989). В медицинских разделах биофизики методами компьютерной томографии изучают и диагностируют тело и органы человека (Коновалов и др, 1977; Burgener, Steven, 2002), а заодно состояние стволов, семян, плодов и клубней растений в “огородах” космических кабин и экспериментальных биосфер (как в лекции 6.3). На самых глубинных уровнях фитоиерархии разными лучевыми методами и языком биофизики описывают молекулярную и последующую структуру “Фотосистемы-1” и других подобных объектов (Biophysical techniques..., 1992). На биофизической основе разрабатываются и генные нанотехнологии.

Вторая часть *Школы* биогеоэкологии посвящена интегральным образам и научным моделям фитосферы и биосферы в той небольшой мере, в какой они наукой предложены и в ней обсуждаются, но в систему природоведческого образования почти не проникают. Это тревожит.

Растения, фитосистемы и фитоиерархия

Введение в тему

В любой стране знание о ее природе должно соответствовать историческому времени и его реалиям. Реалии начала XXI века сильнее и объективнее всего выражают слова “глобализация жизни” во всех ее проявлениях. Поскольку за окном кризис и нежелательных проявлений у него хватает, глобализацию мира приходится принимать как факт жизни и экологии. Понятно, что глобальную природу, в том числе украинскую и российскую, надо видеть уже не по мелочам, а по структурам и явлениям крупным. “Крупное” в живой природе это не пшеница в образе *Triticum durum* desf., а это пшеничные поля, луга, леса России и черноземы Украины. Но почему, спрашивается, Минобраз черноземной Украины штампует из года в год государственный учебник по общей биологии в котором 80% сведений посвящены организмам, сообществам 13%, а экосистемам всего 5 (см. рис.1.7)? В головах школьников на пороге университетов приоритеты отпечатываются в такой же, примерно, пропорции (рис. 1.8). О чем чиновники Минобраз думают и кого для страны готовят? Почему Академия наук Украины, академия педагогическая и общество знаний опасную для страны нелепость не поправляют? Сорта растений можно, разумеется, улучшать, но при этом, как каждому уже известно, их вкус ухудшается и польза уже не та. А что касается реального урожая, то его формируют не биологические виды, а многовидовые сообщества растений и почвы, т.е. экосистемы. Учебники с прицелом на особи и виды организмов от экосистем уводят, а ресурсный кризис не ждет.

Но не вмешиваются ли авторы не в свое дело? Позиция *Школы* была заявлена в самом начале: экологии XX века закончилась, век и его экология теперь уже новые. Социо над Гео и Био слишком возвысилось. Оно их природный порядок переставляет и дезорганизует. Неизбежное следствие – кризис стабильности в обитаемой области Земли и на государственных территориях, для России и Украины одинаково главных.

К природе предстоит возвращаться. Не значит ли это, однако, что разные травы можно уже не изучать, перейдя только к лесам, посевам и к не вполне своим морям? Разумеется, нет. Выход давно известен и в географии выверен – карты природы в разном масштабе; но для объектов разного размера карты должны быть разные. Есть и другой вариант - отображение объектов любого размера в логарифмической метрике (рис. 1.3 и многие другие в *Школе*). В ней строятся интегральные, легко и объективно сравнимые образы объектов любого размера, и их каких угодно частей, уложенных в условных знаках на листе бумаги книжного формата. В средней школе эту метрику “проходят”, а в учебниках биологии и географии ее как не было, так и нет. Какой век на дворе?

В лекциях пятой темы доступный каждому интегральный подход будет показан и подробно объяснен на примере объектов всего автотрофного мира, по индивидуальному размеру – от известной только нано-специалистам “Фотосистемы-1” в клетках фотосинтезирующих бактерий до самых крупных плодов растений на огородах, фермах и плантациях водорослей. Начнется этот обзор с обычных растений, только не с наземных, а с водных. Водные особенно подходят потому, что выглядят как совершенно неподходящие для описания в терминах точных наук. Если изложение окажется убедительным, то такой подход может быть использован читателями по отношению к фитосистемам всех уровней организации автотрофного мира.

Лекция 5.1. Функциональная морфология растения в онтогенезе.*

1. Большой онтогенетический цикл
2. Малый онтогенетический цикл

Открытый рост и прикрепленный образ жизни существенным образом отражаются в формообразовательном процессе растений. Наиболее наглядно это можно увидеть, описав онтогенетические изменения макроморфологической структуры слоевищ многолетней многоклеточной водоросли цистозеры косматой (*Cystoseira crinita* (Desf.) Bory) параметрами численности и масс ее элементов.

1. Большой онтогенетический цикл

Цистозера косматая имеет кустистую форму слоевища, от общей «подошвы» отходят до 20 вертикальных «побегов» (рис. 5.1 *а*). Каждый «побег» в отдельности рассматривается нами как самостоятельная единица, обладающая свойствами отдельной особи и имеющая модульный тип строения (рис. 5.1 *з*). В структуре «побега» морфологически вычленяется многолетний «ствол» (ось нулевого порядка, K_0) в апикальной части которого с регулярной частотой появляются осевые структуры первого порядка (K_{01}), являющиеся основой верхушечной ветви – модуля, ветви первого порядка (рис. 5.1 *в, е*). Ветви после примерно семимесячного цикла развития (рис. 5.3) опадают. В ходе параллельно идущих процессов роста и отмирания верхушечные ветви сменяют друг друга, и за год проходит примерно два полных цикла развития. Одномоментно, начиная примерно с 3-х летнего возраста и до конца жизни «побега», на стволе обнаруживается примерно постоянное (12 – 13) число верхушечных ветвей (рис. 5.2 *а*), при этом их индивидуальная средняя масса (W_b) сильно изменяется (рис. 5.2 *б*). В начале она увеличивается, достигая максимума в возрасте 6 лет, а затем снижается. Таким образом, у «побега», начиная с 6 летнего возраста, каждая последующая генерация ветвей имеет меньшую индивидуальную среднюю массу, и с этого же возраста их общая масса (ΣW_b) снижается (рис. 5.2 *в*). Другими словами, каждое следующее поколение ветвей не способно воссоздать (удерживать) ранее сформированный уровень поглощающей поверхности.

Начиная с трехлетнего, но чаще с пятилетнего возраста, в нижней части «ствола» начинают активизироваться точки роста, появляются адвентивные ветви, по структуре сходные с верхушечными ветвями, но сильно проигрывающие им по индивидуальной массе (рис. 5.2 *б*). Но они превосходили их по численности (рис. 5.2 *а*) и по общей массе (рис. 5.2 *в*), и особенно во второй половине онтогенеза «побега». Также в нижней части «ствола», но с шестилетнего возраста, начинают формироваться боковые, «дочерние» «побеги» – клоны, по морфологической структуре полностью идентичные вертикальному «побегу» (рис. 5.1 *з*). В структуре клона четко выделяется верхушечная зона, постоянно генерирующая ветви и нижняя, где непредсказуемым образом появляются адвентивные ветви. В случае гибели основного «побега» один из боковых «побегов» (клонов) может занять его место. Обратим

* Вопросы функциональной морфологии многоклеточных водорослей и в частности онтогенетические циклы подробно описаны в работах: Калугина-Гутник, 1975; Хайлов, Парчевский, 1983; Хайлов и др., 1992; Фирсов, 1978, 1984; Ковардаков и др., 1985; Празукин, 1983, 2000, 2005а, 2008; Khailov, Firsov 1976; Firsov, Khailov, 1979.

внимание, что в первой половине онтогенеза основная масса, соответственно и поглощающая поверхность растения формируются за счет верхушечных ветвей, во второй половине – за счет структур адвентивного комплекса (рис. 5.1 б – г, рис. 5.2 в, г). Другими словами, имеет место пространственная и временная локализация формообразовательных процессов. Её целесообразность рассмотрим на модели (рис. 5.2 д).

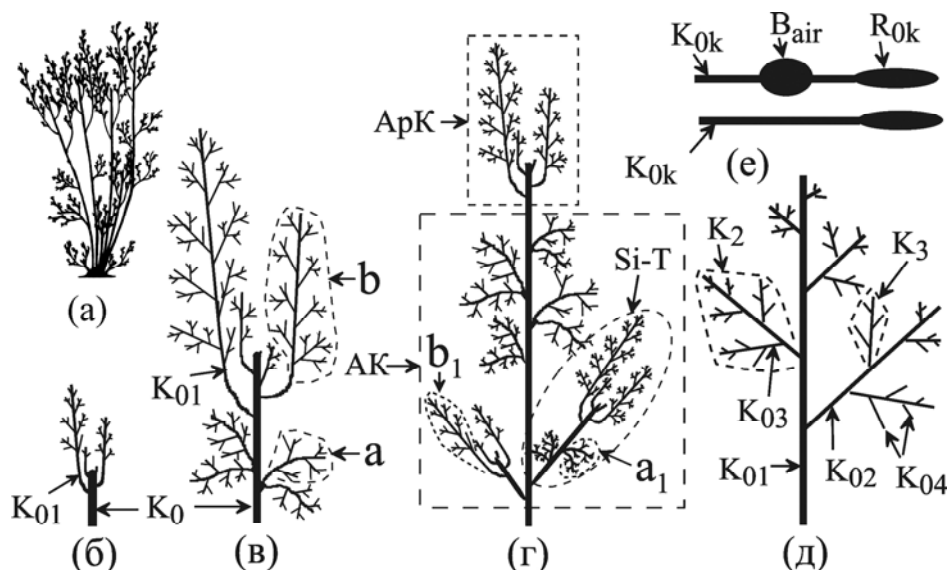


Рис. 5.1. Макроморфо-структурная организация слоевища цистозеры косматой (*Cystoseira crinita* (Desf.) Bory):

а – вертикальные «побеги» образующие куст; в – г – морфоструктурная организация вертикальных «побегов» разного возраста (K_0 – вертикальный ствол (осевая структура нулевого порядка), верхушечные (b) и адвентивные (a) ветви вертикального ствола, Si-T – боковой «побег», b_1 и a_1 – соответственно верхушечные и адвентивные ветви бокового «побег», апикальный (ApK) и адвентивный (AK) комплексы); д – схема осевой структуры ветви первого порядка (K_{01} – K_{04} – осевые структуры первого – четвертого порядков, K_2 – K_3 – ветви второго, третьего порядков); е – схема осевой структуры (B_{air} – воздушный пузырь, R_{0k} – рецептакула). Остальные обозначения даны в тексте.

На рис. 5.2 д представлены кривые, отражающие этапы модельной "сборки" вертикального «побега» и позволяющие понять стратегию формирования его структуры, а также уникальную роль и необходимость каждого класса элементов в онтогенезе. Кривая I отражает изменение общей массы «побега», как если бы он был образован только стволом и верхушечными ветвями. У такого «побега» в 7-летнем возрасте был бы максимум биомассы, вызванный максимумом ΣW_b . Но уже в 9 лет вклад ветвей в общую массу слоевища сильно сократился бы и в 12-летнем возрасте масса ствола в 2.6 раза превысила бы массу ветвей, основного фотосинтезирующего аппарата слоевища. Однако у большинства растений, начиная с 5-летнего возраста, отмечается появление адвентивных ветвей главного ствола, и с возрастом их количество быстро растёт (рис. 5.2 а). Кривая II (рис. 5.2 д) отражает изменение массы слоевища, дополненное адвентивными ветвями главного ствола. Адвентивные ветви, дополняя верхушечную группу ветвей, приводят к тому, что кривая роста «побега» не снижается, а принимает примерно S-образную форму. Таким образом, наличие у «побега» двух типов ветвей позволяет даже к концу его онтогенеза сохранять доста-

точно большой фотосинтетический аппарат. В 6-летнем возрасте на стволе появляются «дочерние» «побеги», что значительно увеличивает массу слоевища (кривая III, рис. 5.2 д) и его продолжительность жизни. Однако, участие тех и других групп ветвей в жизни «побега» может существенным образом изменяться в зависимости от условий окружающей среды.

2. Малый онтогенетический цикл

Ветвь в нашем понимании – это самостоятельный сложноразветвленный элемент слоевища, обладающий собственной морфофункциональной организацией, закономерно меняющейся во времени. В структуре слоевища цистозиры выделяются ветви трех порядков. Ветвь первого порядка (K_1 , рис. 5.1 д) – это осевая структура первого порядка (K_{01}) со всеми осевыми структурами следующих порядков (K_{02} , K_{03} , K_{04}). Ветвь второго порядка (K_2) состоит из оси второго порядка и осевых структур третьего и четвертого порядков, и, наконец, ветвь третьего порядка (K_3) формируется из оси K_{03} и осей K_{04} . Все выше названные порядки ветвей выстраиваются в онтогенетические ряды. Ниже подробно рассмотрим онтогенетический ряд ветвей первого порядка.

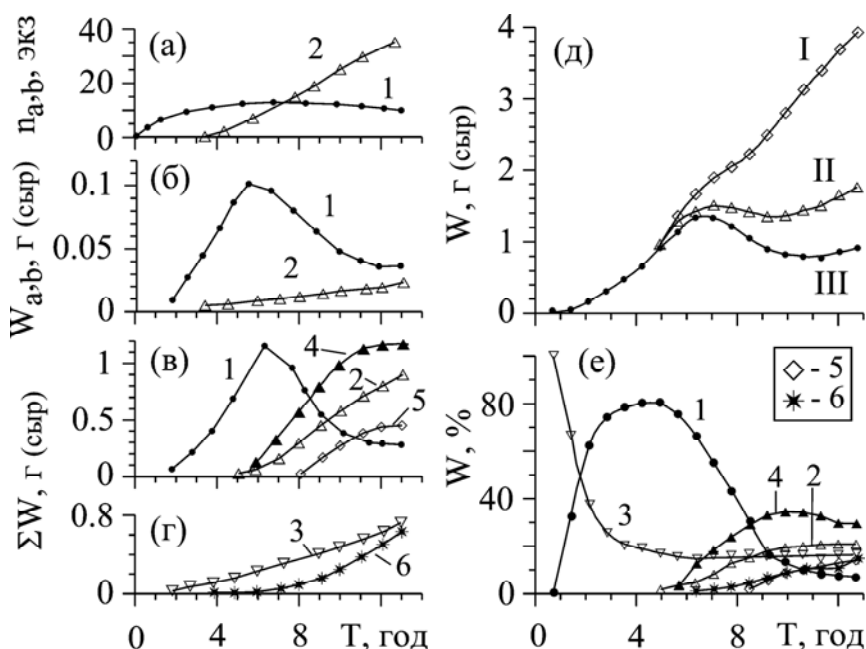


Рис. 5.2. Изменение численности (а), индивидуальной (б) и общей (в, г) массы отделов вертикального «побега» *S. crinita* в его онтогенезе. Процесс «сборки» растущего «побега» *S. Crinita*, выраженный в абсолютных (д) и относительных (е) величинах.

1- верхушечные и 2 – адвентивные ветви основного ствола; 3 – основной «ствол»; 4 – верхушечные и 5 – адвентивные ветви всех боковых «стволов»; 6 – боковые «стволы».

На протяжении всей жизни осевой структуры первого порядка в её апикальной части с постоянной частотой образуются осевые структуры второго порядка, которые являются основой ветвей второго порядка, а это значит, что изменчивость ветвей K_1 связана с онтогенетической динамикой ветвей K_2 .

Ветвь нами рассматривается как популятивный объект, а это значит, что её морфофункциональные свойства определяются с одной стороны параметрами мно-

жества (численностью (рис. 5.3 а) и размерным составом структур (рис. 5.3 б), а с другой – индивидуальными свойствами отдельно взятой структуры. Наложение этих характеристик определяет индивидуальные свойства ветви.

В онтогенезе ветви K_1 выделяются пять периодов, каждый из которых характеризуется определенными структурно-функциональными особенностями. Масса и поверхность ветви, а также её скорость и интенсивность фотосинтеза изменяются в онтогенезе ветви по одновершинным кривым (рис. 5.3 з – е). Максимум интенсивности фотосинтеза наблюдается в возрасте 2 – 2.5 месяцев, а максимальной массы и поверхности ветви достигают в зрелом возрасте – 4 – 5 месяцев. В двухмесячном возрасте полностью складывается архитектоника осевого аппарата, и после этого численные и весовые соотношения осевых структур ($K_{01} - K_{04}$) сохраняются на протяжении всего онтогенеза ветви. На этом же участке онтогенеза остается относительно постоянной удельная поверхность ветви (рис. 5.3 д). Начиная с 4 и особенно с 5.5-месячного возраста, происходит интенсивный спад осевых структур второго-четвертого порядков, в результате масса ветви (рис. 5.3 з) и общий поток углерода через ветвь (рис. 5.3 е) снижаются.

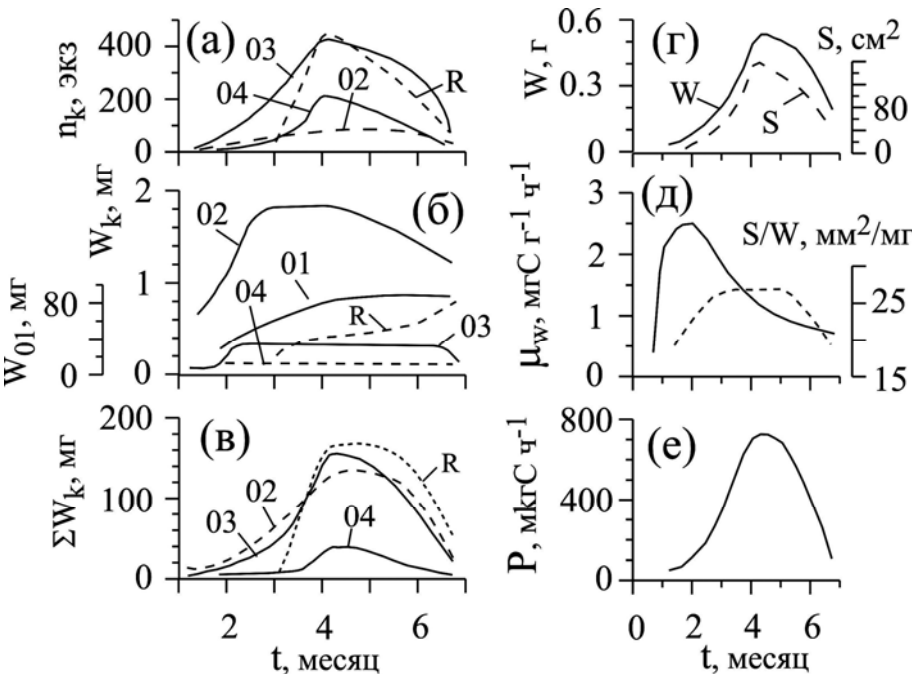


Рис. 5.3. Изменение численности (а), индивидуальной (б) и общей (в, г) массы отделов вертикального «побега» *C. crinita* в его онтогенезе. Процесс «сборки» растущего «побега» *C. Crinita*, выраженный в абсолютных (д) и относительных (е) величинах. 1- верхушечные и 2 – адвентивные ветви основного ствола; 3 – основной «ствол»; 4 – верхушечные и 5 – адвентивные ветви всех боковых «стволов»; 6 – боковые «стволы».

В заключение обратим внимание на иерархическое соподчинение циклов, которое имеет место при росте и формообразовании вертикального «побега» цистозир, это общий онтогенетический цикл развития всего растения и онтогенетические изменения его структурных элементов и в частности ветвей первого порядка, что свойственно большинству растений (Шафронова, 1990).

Лекция 5.2. Типизация и формализация иерархически соподчиненных объектов

Фитосфера, включенная в биосферу состоит из множества биокосных фитосистем разного уровня организации и происхождения. Все биокосные фитосистемы условно разделим на три группы*: *биогенные, геогенные и техногенные*. В свою очередь биогенные – на *телесные* и *надтелесные*.

При формировании биогенных систем «живое вещество» самостоятельно выделяет из общего пространства – обитаемое пространство. Например, для растений в их телесном облике это – пространство (объем тела, V_n), ограниченное их физической поверхностью (S_n , рис. 5.4 *а*)*. В границах тела растения (G_n) пространственно вычленяется собственно растительная ткань (V_T , живые клетки и неживое вещество в межклетных пространствах) и крупные полости, заполненные либо водой ($V_{\text{ВОД}}$) либо газами ($V_{\text{ГАЗ}}$).

Следовательно:

$$V_n = V_T + V_{\text{ВОД}} + V_{\text{ГАЗ}}. \quad (1)$$

В свою очередь тело растения своим расположением «захватывает» часть внешнего пространства, внешняя граница (G_{n+1}) которого проходит по контуру окончаний структурных элементов растения (рис. 5.4 *б*). Сложно-разветвленные растения формируют кроновые и субкроновые пространства (рис. 5.4 *и*). Таким образом, в границах кронового пространства (V_{n+1}), например, водного растения размещается его телесная масса, занимающая соответствующий объем (V_n) и вода ($V_{\text{ВОД}}$), а у наземного растения телесная масса и воздух ($V_{\text{ГАЗ}}$).

Можно записать:

$$V_{n+1} = V_n + V_{\text{ВОД}}, \quad (2)$$

$$V_{n+1} = V_n + V_{\text{ГАЗ}}. \quad (3)$$

Все выше сказанное справедливо и для любой пространственной совокупности растений и в частности для когорты из нескольких растений ($n+2$, рис. 5.4 *в, и*), и для растительного полога ($n+3$) популяции отдельного вида (рис. 5.4 *з, о, н*) и фитоценоза (рис. 5.4 *р*). В пределах границ когорты растений либо растительного полога размещается вся телесная масса растений (ΣV_n), занимающая определенный объем пространства (ΣV_n), и вода ($V_{\text{ВОД}}$) или воздух ($V_{\text{ГАЗ}}$) в зависимости от того водные это или наземные объекты:

$$V_{n+k} = \Sigma V_n + V_{\text{ВОД}}, \quad (4)$$

$$V_{n+k} = \Sigma V_n + V_{\text{ГАЗ}}. \quad (5)$$

* Подробно смотри в работах: Хайлов, 2001; Хайлов и др., 1992, 2005; Празукин, 2003а, 2005а,в, 2007

** Следуя ранее принятым обозначениям уровней организаций, подстрочным символом n будем обозначать параметры телесных систем (организменный уровень), а подстрочным символом $n+k$ – надтелесные (надорганизменные) системы.

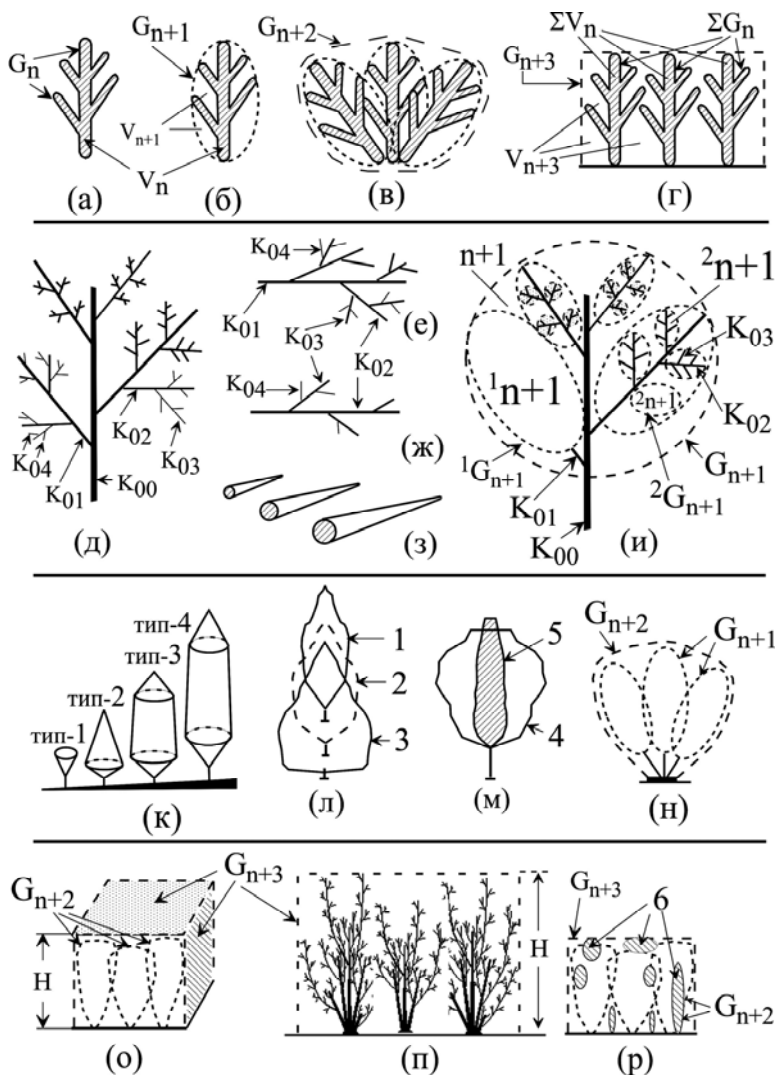


Рис. 5.4. Биогенные фитосистемы. Модели телесной (а) и надтелесных (крона отдельного растения (б), когорты растений (в), растительный полог (г)) биокосных фитосистем; иерархическая организация вертикального «побега» цистозир (д) и его ветвей первого (е) и второго (ж) порядка; 3 – телесные обитаемые пространства осевых структур цистозир. и – кроновое пространство вертикального «побега» цистозир ($n+1$) с субкроновыми пространствами ветвей первого ($1n+1$) и второго ($2n+1$) порядка; геометрические формы надтелесных обитаемых пространств ветвей второго (к) и первого (л) порядка и вертикальных «побегов» (м); n – надтелесное обитаемое пространство когорты растений; полог популяции цистозир (о, п) и фитоценоза (р). $K_{00}, K_{01} - K_{04}$ – ствол, осевые структуры цистозир первого – четвертого порядка; G_n – граница телесного пространства; $G_{n+1}, 1G_{n+1}, 2G_{n+1}, G_{n+2}$ – геометрические границы кронового пространства вертикального «побега» и субкроновых пространств ветвей первого и второго порядка, и обитаемого пространства когорты растений цистозир соответственно; G_{n+3} – геометрические границы полога популяции цистозир или фитоценоза; модельные формы надтелесного пространства ветвей K_1 при значениях угла α : 30° (1), 45° (2), 90° (3); формы надтелесного пространства вертикального «побега» в «развернутом» (4) и в «сомкнутом» (5) состояниях; H – высота растительного полога.

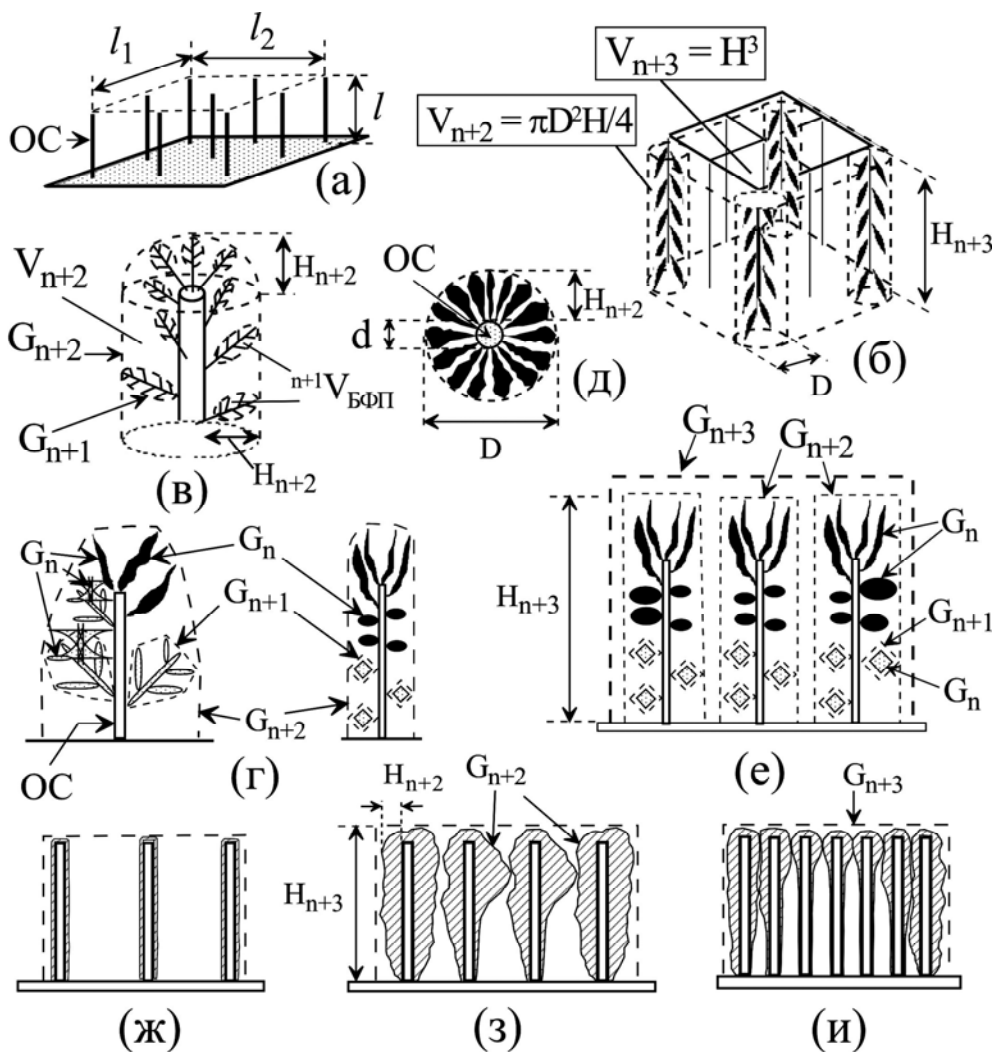


Рис. 5.5. Схемы искусственной рифовой конструкции (ИРК) и биокосных фитосистем техногенного происхождения. (а) – ИРК с цилиндрическими опорными структурами (ОС) вертикально жестко закрепленными на поверхности четырехугольной пластиковой пластины; (б) – плантационная система с вертикально спускающимися веревками, обрастающими многоклеточными водорослями; (в – д) – отдельно стоящие опорные структуры обросшие многоклеточными водорослями; опорные структуры в структуре ИРК обросшие многоклеточными (е) и одноклеточными (ж – и) водоросли при разной плотности их расположения на горизонтальной поверхности. l_1, l_2 и l – линейные параметры ИРК; V_{n+2}, V_{n+3} – объем обитаемого пространства растений на отдельной опорной структуре и растений ИРК или плантации; H – высота растительного полога, формируемого как на отдельной взятой опорной структуре, так и в целом на ИРК; $G_n, G_{n+1}, G_{n+2}, G_{n+3}$ – соответственно, граница поверхности тела, граница кронового пространства, обитаемого пространства растений отдельной опорной структуры и в целом на ИРК; d, D – соответственно диаметр опорной структуры и растительного полога на ней.

Таким образом, иерархия БФ биогенного происхождения представляет собой систему из множества разномасштабных обитаемых пространств, вложенных друг в друга, начиная с систем телесного уровня организации и заканчивая растительным пологом ($V_n \subset V_{n+1} \subset V_{n+2} \subset V_{n+3}$).

Обитаемые пространства техногенных фитосистем изначально организуются человеком (рис. 5.5 а). Задаются определенные соотношения между заселяемой поверхностью и обитаемым пространством. Растения, поселяясь, например, на искусственных рифовых конструкциях, погруженных в воду, вычлениют часть пространства (V_{n+3}), в границах (G_{n+3}) которого располагаются тела растений (ΣV_n), опорные элементы рифовых конструкций (V_{OC}) и вода ($V_{ВОД}$), с растворенными и взвешенными в ней веществами (рис. 5.5 е). Другими словами на рифовых конструкциях формируется растительный полог, определяющий внешние границы системы и ее объем:

$$V_{n+3} = \Sigma V_n + V_{OC} + V_{ВОД}. \quad (6)$$

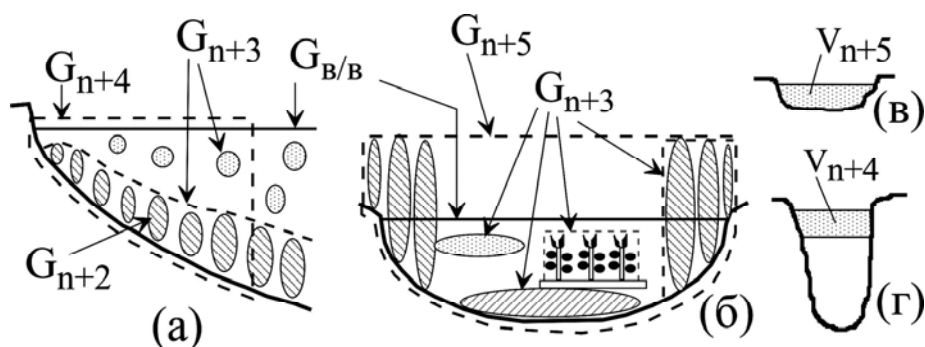


Рис. 5.6. Геогенные фитосистемы. Обитаемые пространства в границах водоема (G_{n+5} , б, в) и в границах его участков (прибрежный участок (G_{n+4} , а), фотический слой глубоководного водоема (г)). V_{n+5} , V_{n+4} – соответственно объемы водоема и фотической зоны. $G_{в/в}$ – граница вода – воздух. Остальные обозначения на рис. 5.4 и 5.5.

Обитаемые пространства геогенных фитосистем* определяются геоморфологией Земли (рис. 5.6). Растения осваивают пространство водоемов Земли (V_{n+4} , V_{n+5}), например, начиная с небольших дождевых луж и заканчивая океанами. Осваивают растения, также и различные углубления и складки наземной поверхности Земли. По понятным причинам, глубоководные водоемы и высокогорные участки суши не могут быть полностью заполнены растениями, растения осваивают только определенную часть пространства (V_{n+4} , рис. 5.6 г).

Применительно к биокосным системам геогенного происхождения справедливости уравнения 4 и 5.

* Подробно смотри в лекциях 6.1, 6.2.

Лекция 5.3. Формирование обитаемых пространств фитосистем биогенного происхождения

1. Телесное пространство
2. Кроновое и субкрупное пространства
3. Обитаемое пространство когорты растений
4. Обитаемое пространство растительного полога
5. Иерархия обитаемых пространств многоклеточной водоросли цистозир.

В лекции 3.3 обсуждались основные принципы присвоения земного пространства растениями. Обитание рассматривалось как экологический процесс, описываемый конкретными параметрами. В данной лекции мы возвращаемся к обсуждению этого вопроса и проиллюстрируем его на конкретных примерах и в частности рассмотрим иерархическую структуру обитаемого пространства тела черноморской многоклеточной водоросли цистозир косматой и её кронового и популяционного пространства*, а в лекции 5.4 структуру обитаемого пространства фитосистем техногенного происхождения.

1. Телесное пространство

Телесное пространство (n) цистозир состоит из отдельных пространств, преимущественно цилиндрических (осевых) структур (рис. 5.1 d , e , рис. 5.4 $d - ж$) разного порядка ветвления, каждая из которых характеризуется характерным для нее значением длины (l_n), диаметра сечения (d_n) и массы (W_n). У осевых структур увеличение объема обитаемого пространства связано, в основном, с их удлинением. В процессе роста d_n изменяется незначительно, и у подавляющего числа структур $d_n/l_n \ll 1$. Это значит, что характерная длина метаболического пути** преимущественно определяется размерами диаметра оси ($L_n = V_n/S_{бок} = d_n/4$, где $S_{бок}$ боковая поверхность оси) и мало изменяется с ростом структур в длину, но уменьшается в ряду порядков ветвления (рис. 5.7 a). Крайние значения L_n структур нулевого и четвертого порядка различаются на порядок величин (рис. 5.7 a , обобщающая линия A). В то же время, примерно в том же диапазоне значений V_n характерная длина метаболического пути в пределах телесного пространства в ряду разветвленных объектов: ветви второго и первого порядка, вертикальные «побеги» удерживается в узком интервале значений (рис. 5.7 a , обобщающая линия B). Другими словами, благодаря ветвлению, растение сохраняет относительно небольшие величины характерной длины метаболического пути при существенном увеличении его телесного объема. Угол между обобщающими линиями A и B характеризует цену ветвления и отражает метаболи-

* Структурная организация кроновых пространств водных и наземных растений подробно рассмотрено в работах: Хайлов и др., 1992, 1996, 2005; Хайлов, 2001, Празукин, 2000, 2003б, 2005, 2007, 2008; Празукин, Хайлов, 2008.

** Параметр характерная длина метаболического пути (L) разъясняется в лекциях 7.3, 7.5, 8.1 и в статьях: Хайлов, Юрченко, Шошина, 2001, Хайлов, Ковардаков, Шошина, 2002, Празукин, Хайлов, Ковардаков, 2003.

тический выигрыш, получаемый растением за счет ветвления. Понятно, что при прочих равных условиях в метаболически выигрышном положении оказываются системы с наименьшей, характерной длиной метаболического пути. Выигрыш от ветвления еще и в том, что в относительно небольшом объеме надтелесного пространства (V_{n+1} , $^kV_{n+1}$) при относительно небольшом телесном объеме (V_n) укладывается (размещается) относительно большая поверхность растения (S_n).

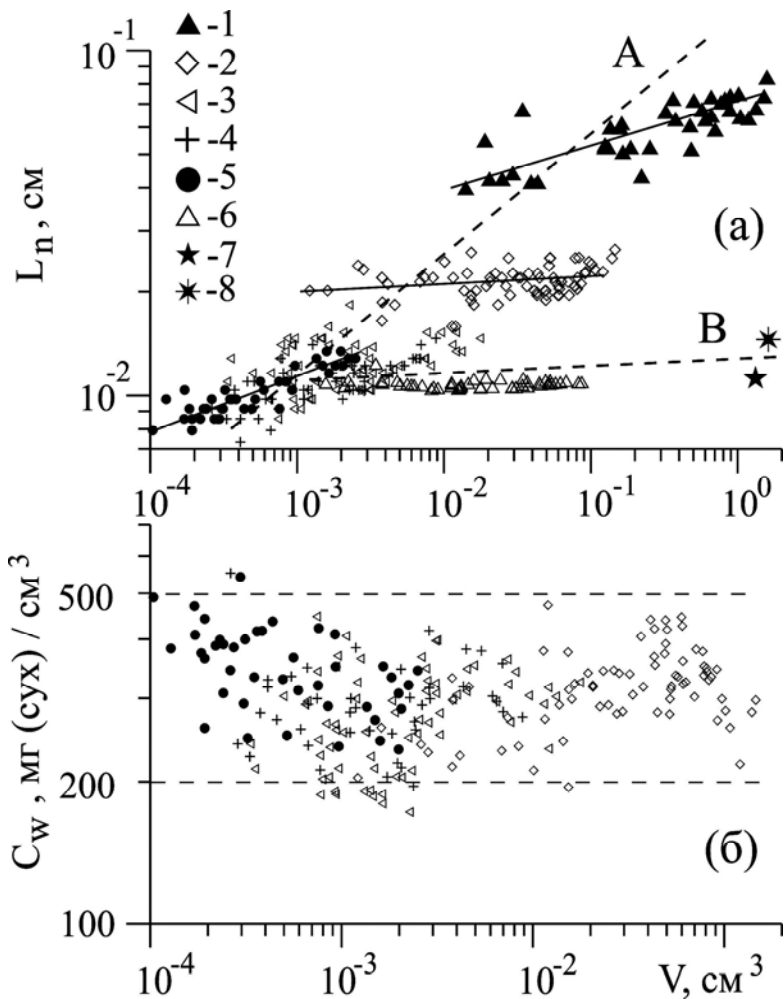


Рис. 5.7 а. Соотношение объема телесного пространства (V_n) и характерной длины метаболического пути (L_n) в телесном пространстве осевых структур (нулевого – четвертого (1 – 5) порядков ветвления), ветвей второго (6) и первого (7) порядков, и вертикальных побегов (8) *Cystoseira crinita*.

Рис. 5.7 б. Соотношение объема телесного пространства (V_n) и объемной концентрации сухого вещества (C_w) в осевых структурах *Cystoseira crinita*. Обозначения те же, что на рис. 5.7 а.

Телесное пространство цистозир practically полностью заполнено «живым» веществом (исключение составляют воздушные пузыри, а также рецептакулы после выхода спор), структурированным в форме клеток и тканей. На поперечном срезе осевых структур выделяются три слоя тканей (Калугина-Гутник, 1975), из которых, наружный, представлен ассимиляционными клетками. Доля этого слоя со-

ставляет 9 – 19% общего объема. Последнее означает, что между интенсивностью фотосинтеза, рассчитанного на единицу объема (μ_v), и L_n может существовать обратная пропорциональная зависимость*.

Концентрация сухой массы в телесном объеме структур цистозеры варьирует в диапазоне 200 – 500 мг (сух. массы)/см³ (рис. 5.7 б).

2. Кроновое и субкроновые пространства

В процессе роста и ветвления растение увеличивает свое телесное пространство, одновременно формирует и надтелесное иерархически структурированное пространство кроны ($n+1$), членение которого закономерно следует членению тела растения на ветви разных порядков (рис. 5.1, 5.4 и).

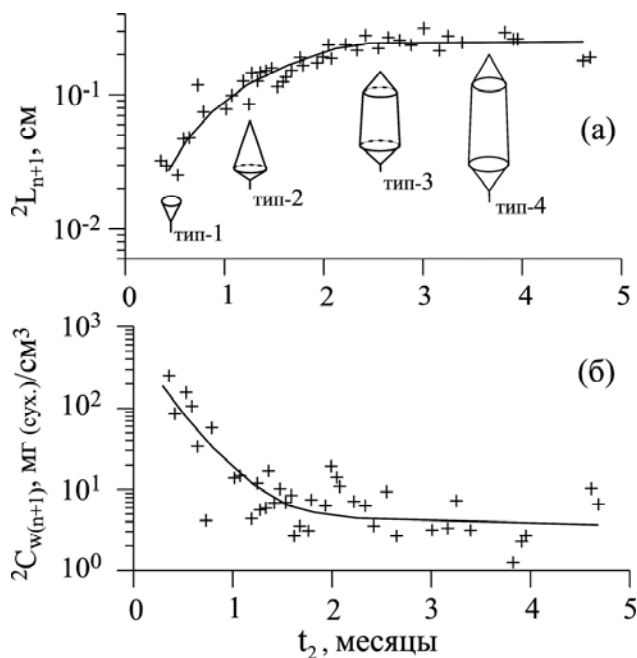


Рис. 5.8. Изменение характерной длины метаболического пути (L_{n+1} , а) и объемной концентрации сухого вещества (C_W , б) в субкроновом пространстве ветвей второго порядка *Cystoseira crinita* в их онтогенезе (t_2)

Надтелесное пространство ветвей второго порядка (K_2) образуются осевыми структурами второго – четвертого (реже пятого) порядка (рис. 5.1 д, 5.4 ж) и имеют хорошо различимую форму надтелесного обитаемого пространства, которая в определенной последовательности изменяется в онтогенезе ветви (рис. 5.4 к). Вначале это форма конуса или треугольной пирамиды (тип – 1), которая с ростом ветви меняется на форму, похожую на юлу (тип – 2). Далее следует форма, состоящая из двух конусов или треугольных пирамид, между которыми располагается цилиндр или небольшая призма соответствующего сечения (тип – 3). Сильное увеличение длины промежуточного цилиндра или призмы делает форму надтелесного пространства ветви похожей на вытянутый цилиндр или призму (тип-4). Ветви с первым и вторым типами надтелесного пространства ответственны за восходящую часть кривой ${}^2L_{n+1}(t_2)$ (рис. 5.8 а), а ветви с третьим и четвертым типами формы – за горизонтальный и нисходящий участок. Другими словами у ветвей, начиная примерно с возраста 2 мес. форми-

* Подробно смотри: Празукин, Хайлов, Ковардаков, 2003

руется такая форма надтелесного пространства, при которой ${}^2L_{n+1}$ мало зависит от его размера (объёма). Примерно с этого же возраста концентрация сухой массы в надтелесном пространстве ветви перестает быстро снижаться, и удерживается в диапазоне от 1 до 10 мг(сух)/см³ (рис. 5.8 б).

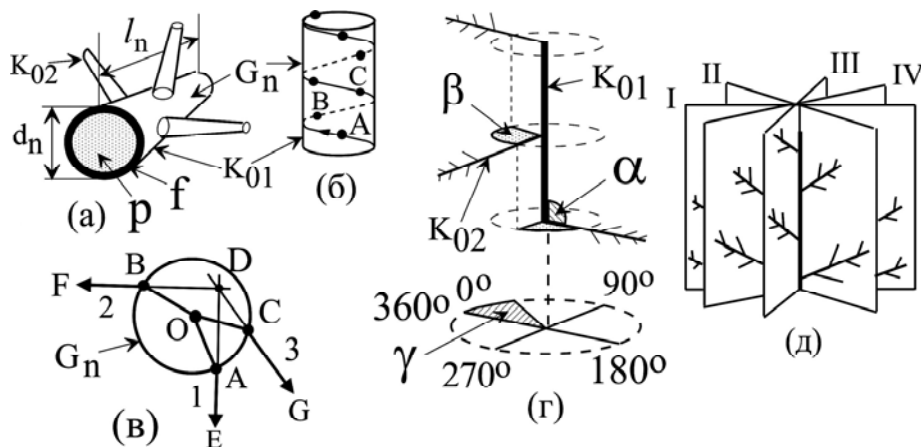


Рис. 5.9. Элементы пространственной организации ветви первого порядка *Cystoseira crinita*. а – осевая структура первого порядка с осевыми структурами второго порядка и ее поперечное сечение; б – схема основной генетической спирали (Точками указаны места положений осей следующего порядка.); в – д – схемы пространственного расположения осей второго порядка. L_n , d_n – длина и диаметр осевой структуры; ткани, содержащие (f) и не содержащие (p) пигменты; А, В, С - места расположений осевых структур K_{02} под номерами 1, 2 и 3 на оси K_{01} ; $\angle AOB$, $\angle BOC$ – углы расхождения; $\angle EDF$ и развернутый $\angle FDG$ – углы поворота; α , β , γ – углы наклона, поворота и азимутальный угол ветвей второго порядка; I, II, III, IV – плоскости радиального сечения ветви первого порядка. Остальные обозначения те же, что на рис. 5.4.

Надтелесные пространства ветвей первого порядка (K_1 , рис. 5.4 л) определяются моноподиальным ветвлением и спиральным расположением ветвей K_2 на осевой структуре K_{01} (рис. 5.4 д, рис. 5.9 а, б). Осевые структуры второго порядка образуются с постоянной частотой в апикальной части K_{01} и равномерно располагаются по всей её длине. Расстояние между основаниями осевых структур K_{02} с приближением к базальной части оси K_{01} незначительно увеличивается. Увеличивается в этом направлении и длина осей второго порядка, что придаёт обитаемому пространству ветви конусообразную форму у молодых и форму «тип-3» у зрелых ветвей (рис. 5.4 л). Форма вытянутого цилиндра, как правило, наблюдается у ветвей в возрасте старше четырех месяцев. Размер и форма надтелесного пространства K_1 зависят и от углов наклона (α) и поворота (β) осей K_{02} (рис. 5.9 в, г). Изначально, в апикальной части K_{01} , оси K_{02} отходят под углом 45° , но в процессе разворачивания ветви K_2 и под воздействием внешних факторов каждая ветвь располагается под собственным углом, и в целом за исключением отдельных случаев α варьирует в узком диапазоне значений угла $40 - 60^\circ$.

Расположение ветвей второго порядка по окружности оси K_{01} одновременно определяется порядком их заложения (рис. 5.9 а, б), т.е. внутренними причинами и внешними факторами, контролирующими окончательную (наблюдаемую) ориентацию ветвей в пространстве. Каждый последующий зачаток оси второго порядка, следуя по основной генетической спирали, располагается на 180° от предыдущего (угол расхождения) (рис. 5.9 в). Однако, равенства угловых расстояний между направлениями смежных осевых структур K_{02} не наблюдается и объясняется это тем, что угол

расхождения и угол поворота не совпадают между собой (рис. 5.9 *в*). Первый определяется генетически, второй во многом зависит от внешних факторов, от взаимного расположения ветвей и положения в целом всего растения в пространстве.

У четырехмесячной ветви первого порядка обнаруживаются четыре плоскости радиального расположения ветвей K_2 (рис. 5.9 *д*, 5.10), что исключает взаимное перекрывание обитаемых пространств ветвей K_2 и равномерное их расположения в обитаемом пространстве ветви K_1 (рис. 5.10).

Графическое моделирование формы и размера надтелесного пространства ветви в зависимости от величины угла α позволяет оценить возможные пределы изменений $^1L_{n+1}$ и $^1C_{W(n+1)}$. За исходное, возможно, наиболее часто встречаемое состояние надтелесного обитаемого пространства ветви примем состояние - при значениях $\alpha = 45^\circ$ (рис. 5.4 *л* (2)). Уменьшение угла α до 30° ведет к сокращению в 1.4 раза $^1L_{n+1}$ и увеличению в 2 раза $^1C_{W(n+1)}$ (рис. 5.4 *л* (1)). При $\alpha = 90^\circ$ характерная длина метаболического пути увеличивается в 1.4 раз и в 2 раза снижается концентрация сухой массы по сравнению с исходным состоянием ветви (рис. 5.4 *л* (3)). Таким образом, изменения угла α от исходного его значения в сторону его уменьшения на 15° и в сторону увеличения на 45° вызывают одинаковые изменения в соотношениях обсуждаемых параметров, разве что с противоположными знаками. В целом, крайние значения $^1L_{n+1}$ различаются примерно в два раза, а $^1C_{W(n+1)}$ - в четыре.

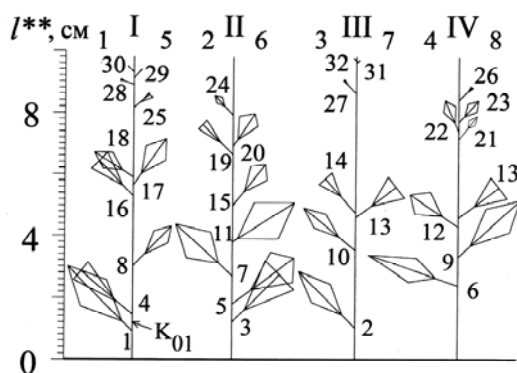


Рис. 5.10. Проекционная модель четырехмесячной ветви первого порядка *Cystoseira crinita*. I – IV – плоскости радиального сечения проходящие через ось K_{01} (см. рис. 6 д). 1 – 8 – расположение проекций ветвей второго порядка в выше названных сечениях. l^{**} – длина участка оси K_{01} от ее базальной части до места закладки соответствующей оси K_{02} . 1 – 32 нумерация ветвей K_2 в порядке их появления на оси K_{01} .

Кроновое пространство слоевища цистозир (рис. 5.4 *и*, *м*). Его форма и размер определяются взаимным расположением ветвей первого порядка, и остаются относительно неизменными при малой подвижности воды, но сильно, причем быстро, изменяются в условиях прибой в мелководной части моря. На рис. 5.4 *м* показаны два состояния кроновой системы восьмилетнего слоевища цистозир – состояние в условиях малой подвижности воды, когда достигается её максимальное «раскрытие» и состояние в условиях направленного потока воды («сжатое» состояние), когда крона сжимается, и форма кронового пространства принимает сигарообразную форму.

Частая смена направления движения воды в прибойной части моря вызывает пульсирующее изменение концентрации сухой массы и длины метаболического пути в кроновом пространстве слоевища. Другими словами, это быстрое снижение $C_{W(n+1)}$ и быстрое увеличение L_{n+1} в момент раскрытия «парашюта» и такое же быстрое изменение этих же параметров, но в противоположном направлении при его сжатии. Как показывают эксперименты, разница между крайними значениями по $C_{W(n+1)}$ может составлять порядок величин, а по L_{n+1} в 2 – 3 раза.

3. Обитаемое пространство когорты растений

Особенностью морфологической организации цистозирры косматой является то, что она образует когорты слоевищ ($n+2$), от общего основания отходят до 20 слоевищ разного возраста (рис. 5.1 *а*, 5.4 *н*).

В качестве примера рассмотрим надтелесное пространство отдельной когорты растений, сформированной шестью слоевищами в возрасте от 2 до 7 лет. Это небольшой объект, объемом 1500 см^3 с формой похожей на парашют с широким куполом - комбинация из двух геометрических фигур: короткого усеченного конуса сильно расширяющегося к верху и полусферы, венчающей верхушку конуса. При такой форме и при таком объеме длина метаболического пути надтелесного обитаемого пространства растения (L_{n+2}) равняется 2.2 см. Обитаемые пространства ближайших друг к другу слоевищ в большинстве случаев частично перекрываются. В целом для обитаемого пространства когорты растений соотношение $\Sigma V_{n+1}/V_{n+2}$ равно 0.78, это значит, что как минимум 22% обитаемого пространства растения не охвачено надтелесными пространствами слоевищ его образующих (рис. 5.4 *н*). 3% общего объема надтелесной системы когорты растений приходится на телесный объем (ΣV_n). Другая часть (97%), ближайшее функциональное пространство ($V_{\text{БФП}}$), заполнено водой с растворенными и взвешенными в ней веществами (рис. 5.4 *б*, *в*). Объемная концентрация сухой массы $C_{w(n+2)}$ равняется 6.42 мг/см^3 .

4. Обитаемое пространство растительного полога

Полог цистозирры ($n+3$) складывается из крон разновозрастных слоевищ (рис. 5.4 *з*, *о*, *п*). Биомасса слоевищ каждой размерно-возрастной группы неравномерно распределяется по вертикальному профилю полога (рис. 5.11 *а*). Распределения описываются одновершинными кривыми. Большинство кривых распределения примерно симметричны относительно своего максимума, за исключением для растений до года. У растений в возрасте от года до 6.25 лет, с увеличением возраста размерно-возрастной группы максимум кривых $W/S_o(z)$ растет (с 1.5 до 6.7 $\text{мг(сух)}/\text{см}^2$), и его положение перемещается в более высокие слои полога. У размерно-возрастных групп $6.25 \leq 8$ и $8 \leq 9.75$ лет максимум $W/S_o(z)$ мало выражен, количество сухой массы, приходящейся на единицу поверхности дна в каждом отдельном горизонтальном слое не превышает 2 и 1 $\text{мг(сух)}/\text{см}^2$ соответственно и относительно равномерно распределено на большей части профиля полога. Растения в возрасте старше 3 и до 6.25 лет вносят основной вклад в формирование наиболее густо заселенной (плотной, $C_w = 3 - 5 \text{ мг(сух)}/\text{см}^3$) части полога шириной в 15 см, где сосредоточено 75% всей растительной массы. Объемная концентрация сухой массы ($C_w(Z)$) по профилю полога изменяется асимметрично относительно положения своего максимума, который располагается значительно ниже срединной части полога (рис. 5.11 *б*). Другими словами, нижняя и особенно верхняя части полога не полностью заполнены живым веществом.

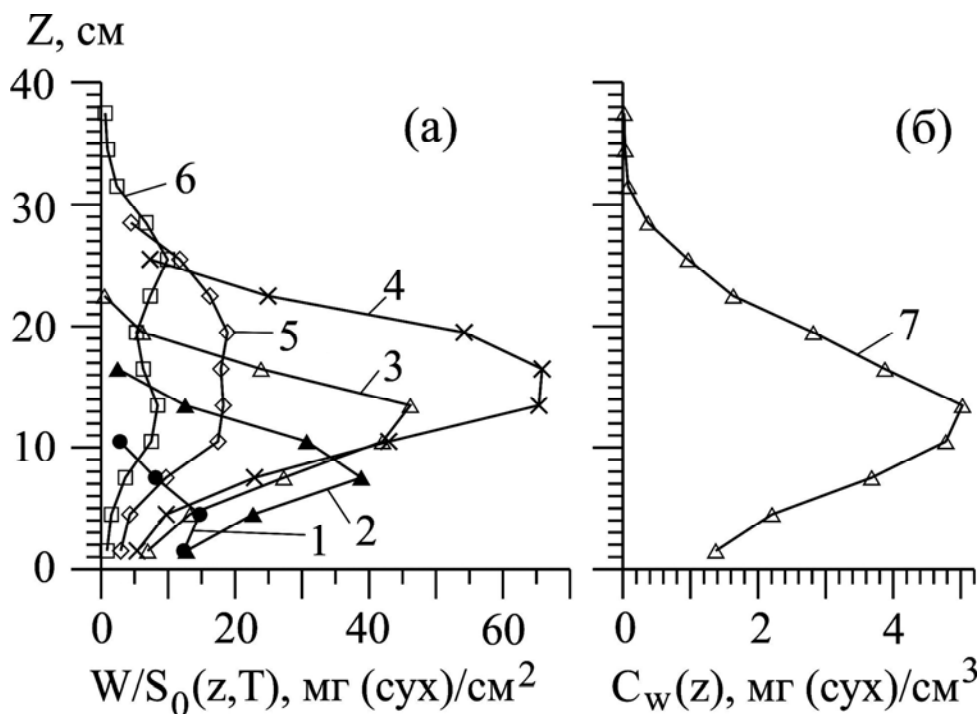


Рис. 5.11. а, б Вертикальное распределение сухой массы ($W/S_0(z,T)$) размерно-возрастных групп вертикальных побегов ценопопуляции *Cystoseira crinita* (1 – 6), и концентрации сухого вещества ($C_W(z)$) в обитаемом пространстве ценопопуляции цистозеры в открытой части побережья, на глубине 4 м. Возрастные группы вертикальных побегов: 1 – $0 < 1$; 2 – $1 \leq 2.75$; 3 – $2.75 \leq 4.5$; 4 – $4.5 \leq 6.25$; 5 – $6.25 \leq 8$; 6 – $8 \leq 9.78$ лет.

5. Иерархия обитаемых пространств многоклеточной водоросли цистозеры.

Всю иерархию обитаемых пространств цистозеры ($V_n \subset V_{n+1} \subset V_{n+2} \subset V_{n+3}$, рис. 5.4) можно обобщенно представить, рассмотрев ее в едином метрическом поле. На рис. 5.12 показано соотношение объема обитаемого пространства и концентрации в нём сухой массы растений (C_W). Вся совокупность данных, представленная на рисунке, разделилась на две группы: в первую (регрессия 1) вошли осевые структуры цистозеры; во вторую группу (регрессия 2) – ветви первого и второго порядка, достигшие зрелого возраста, целые растения цистозеры в собственных надтелесных обитаемых пространствах, а также пологи популяции цистозеры.

Концентрация сухого вещества в телесном объеме осевых структур цистозеры варьирует в диапазоне $200 - 500$ мг (сух. массы)/см³ при том, что объем их обитаемого пространства изменяется более чем на три порядка величин. Значения C_W объектов второй группы на порядок ниже первой и распределяются полосой в диапазоне примерно одного порядка ($1 - 20$ мг (сух. массы)/см³). Таким образом, в обитаемых пространствах телесных и надтелесных систем поддерживаются собственные устойчивые диапазоны значений концентраций сухого вещества, отражающие разные способы заполнения пространства. В свою очередь регрессии 3 и 4 соединяют эти две группы объектов, демонстрируя тем самым переход из одного устойчивого состояния, присущего телесным системам в другое, характерное надтелесным.

В лекции 3.3. «Обитание как присвоение земного пространства и владение им» было показано, что концентрация сухого вещества в геометрических объемах обитаемых пространств разных групп наземных и водных, низших и высших растений и их структурных элементов закономерно снижается по мере увеличения их геометрического объема, связь между этими параметрами описывается уравнением:

$$\log C_w = \log a - b \log V_{n+k} \quad (7)$$

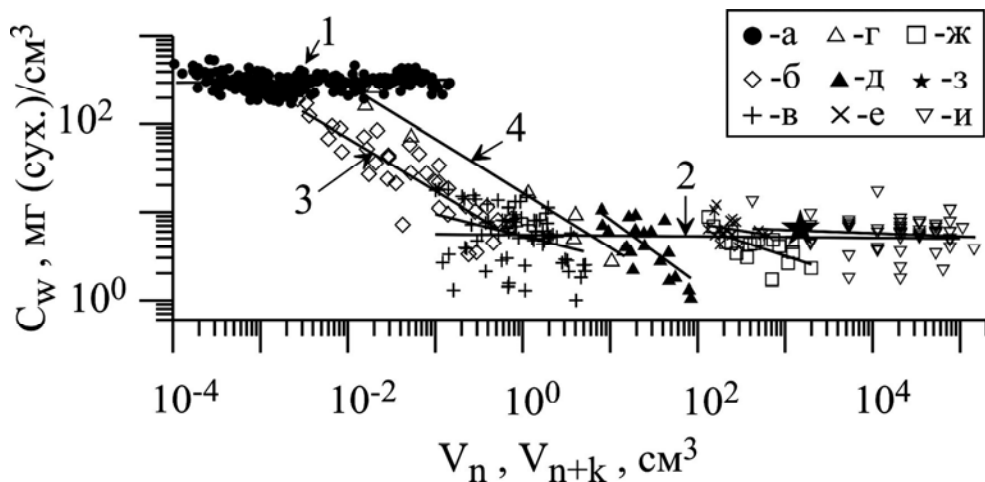


Рис. 5.12. Соотношение объема обитаемых пространств (V_n , V_{n+k}) и объемной концентрации сухого вещества (C_w) в биокосных фитосистемах разного типа и уровня организации с участием *Cystoseira crinita*. Осевые структуры первого – четвертого порядка (а, регрессия 1); субкороновые пространства ветвей второго (в возрасте $0.5 \leq 1$ (б, регрессия 3) и >1 (в) месяцев) и первого (в возрасте ≤ 3 (г, регрессия 4) и >3 (д) месяцев) порядка; кроновые пространства вертикальных «побегов» в «развернутом» (с растений с глубин 0.5 м (е,) и 4 м (ж,)); надтелесное обитаемое пространство всего растения (з); пологи ценопопуляций цистозир (и). 2 – обобщающая регрессия.

Это правило соблюдается и в иерархии обитаемых пространств цистозир (рис. 5.12), увеличение V_{n+k} сопровождается снижением C_w в размерных рядах каждого класса объектов (ветвей (K_1 и K_2) и целые слоевища). Особенностью является то, что у названных объектов в зрелом возрасте верхние и нижние значения C_w не выходят за пределы общего для них коридора – 1 – 20 мг (сух. массы)/см³.

В целом можно сказать, что обитаемое пространство фитосистемы расчленено на геометрические отсеки, в которых концентрация биоорганического вещества поддерживается на определенных уровнях. При этом важно отметить, что в обитаемых пространствах телесных и надтелесных биокосных фитосистем поддерживаются собственные устойчивые диапазоны значений объемной концентрации сухого вещества, отражающие разные способы заполнения растениями пространства.

Лекция 5.4. Формирование обитаемых пространств фитосистем техногенного происхождения*

1. Искусственные рифовые конструкции
2. Иерархия обитаемых пространств фитосистем техногенного происхождения

1. Искусственные рифовые конструкции

Как уже говорилось в лекции 5.2, обитаемые пространства БФ техногенного происхождения изначально организуются человеком (рис. 5.5 а). Мыслительный вклад человека в искусственные биокосные объекты является системообразующим.

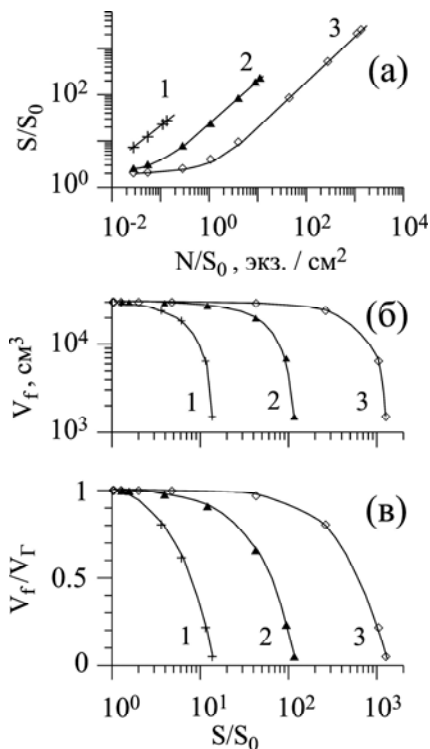


Рис. 5.13. Соотношения морфометрических параметров модулей (см. рис. 5.5 а) с одинаковыми линейными параметрами (l , l_1 , l_2): а – индекса обрастаемой поверхности (S/S_0) и плотности расположения опорных структур (N/S_0); б – свободного пространства (V_f) и S/S_0 ; в – соотношение $V_f/V_Г$ и S/S_0 . $V_Г$ – геометрический объем конструкции; 1, 2, 3 – серии конструкций с опорными структурами цилиндрической формы с диаметром 0,03, 0,33 и 3 см соответственно; $l = 10$ см, l_1 , $l_2 = 30$ см.

В качестве объекта для иллюстрации параметрического описания возьмем биокосную фитосистему формирующуюся на искусственном модуле (искусственной рифовой конструкции) представляющий собой частокол круглых (диаметр 0,35 см) опорных осевых пластиковых структур, вертикально жестко закрепленных на поверхности (S_0 – поверхность «дна» модуля; $S_0 = l_1 l_2$, где l – линейные размеры) четырехугольной пластиковой пластины (рис. 5.5 а). Частокол опорных структур

* Подробно см. в работах: Хайлов и др., 1992, 1994, 1998, Хайлов, 2001, Хайлов, Празукин, Смолев, 1995; Празукин А. В., Хайлов, 1998, Юрченко, 2000, Празукин, 2001, 2003а.

ограничивает определенный геометрический объем ($V_{\Gamma} = l_1 \cdot l_2 \cdot l$, где l – высота опорной структуры), часть которого занята опорными структурами (V_i), а свободное пространство – водой ($V_f = V_{\Gamma} - V_i$). Поверхность всех опорных структур (ΣS_i) и поверхность горизонтальной пластины – «дна» модуля, не занятая осевыми структурами (S_f), составляют общую поверхность модуля ($S = S_f + \Sigma S_i$).

Одной из важных характеристик любого модуля является соотношение общей его поверхности и поверхности проекции модуля на горизонтальную поверхность дна (S/S_0 – индекс обрастаемой поверхности). В нашем случае площадь проекции поверхности модуля совпадает с площадью поверхности «дна».

Согласно уравнению: $S/S_0 = \Sigma S_i + S_f / S_0 = 1 + \pi d l / N/S_0$, индекс обрастаемой поверхности зависит от диаметра (d) и высоты (l) опорных структур и от их численности на единицу горизонтальной поверхности, «дна» модуля (N/S_0). С этими же параметрами связана и величина свободного объема модуля. Согласно уравнению: $V_f = S_0 l (4 - \pi d^2 N/S_0)/4$, с увеличением d и S/S_0 при фиксированных значениях S_0 и l уменьшается свободное пространство модуля, что следует учитывать при создании рифовых конструкций.

На рис. 5.13 показано соотношение двух базовых морфометрических параметров, S/S_0 и N/S_0 , подтверждающее общеизвестное правило: наибольшая заполняемость ограниченного пространства физической поверхностью достигается при одновременном уменьшении размеров структур и увеличении их численности. И как следствие этого правила: чем больше диаметр у опорных структур модуля, тем при меньших значениях S/S_0 свободный объем достигает предельного размера, при котором поселение фотосинтезирующих организмов в нем невозможно (рис. 5.13 б, в).

2. Иерархия обитаемых пространств фитосистем техногенного происхождения

Рифовые конструкции, помещенные в водоем, через определенное время обрастают водорослями, формируется фитосистема, структура и функция, которой во многом определяется структурой ИРК (рис. 5.5 б – и).

Опорные структуры искусственной рифовой конструкции обросшие водорослями похожи на деревья в лесу. Опорные структуры исполняют роль ствола, а водоросли – ветви разных порядков (рис. 5.5 в, з). Последние формируют «крону». Если обрастает отдельно стоящая опорная структура, то формируемая «крона» по форме похожая на раскидистую крону отдельно растущего наземного дерева (рис. 5.14 а, б). Если же обрастают опорные структуры частокола при высокой плотности их расположения, образующие в этом случае «кроны» похожи на кроны деревьев высокорослого таежного леса (рис. 5.4 и, 5.14 в, з), а вся совокупность «крон» формирует следующий уровень пространственной организации – растительный полог, похожий на полог леса.

На рис. 5.15 показано соотношение объема (V_{n+k}) фитосистем техногенного происхождения и концентрации в них сухой массы растений (C_w). На графике помимо данных по выше описанным искусственным рифовым конструкциям представлены данные по конструкциям плантационного типа (рис. 5.5 б), имеющие большие геометрические размеры.

Иерархический принцип организации обитаемого пространства реализуется и в техногенных фитосистемах: $V_n \subset V_{n+1} \subset V_{n+1} \subset V_{n+2} \subset V_{n+3}$. Условно первый уровень организации – фитообрастания на отдельной опорной структуре и вода с растворенными в ней веществами, в границах обрастания, G_{n+2} (рис. 5.5 в – д, рис. 5.15,

линия 3). Следующий более высокий уровень – фитообрастания на всей рифовой конструкции и вода и растворенные в ней вещества, в соответствующих границах фитосистемы, G_{n+3} (рис. 5.5 б, е – и, рис. 5.15, линии 4 – 6).

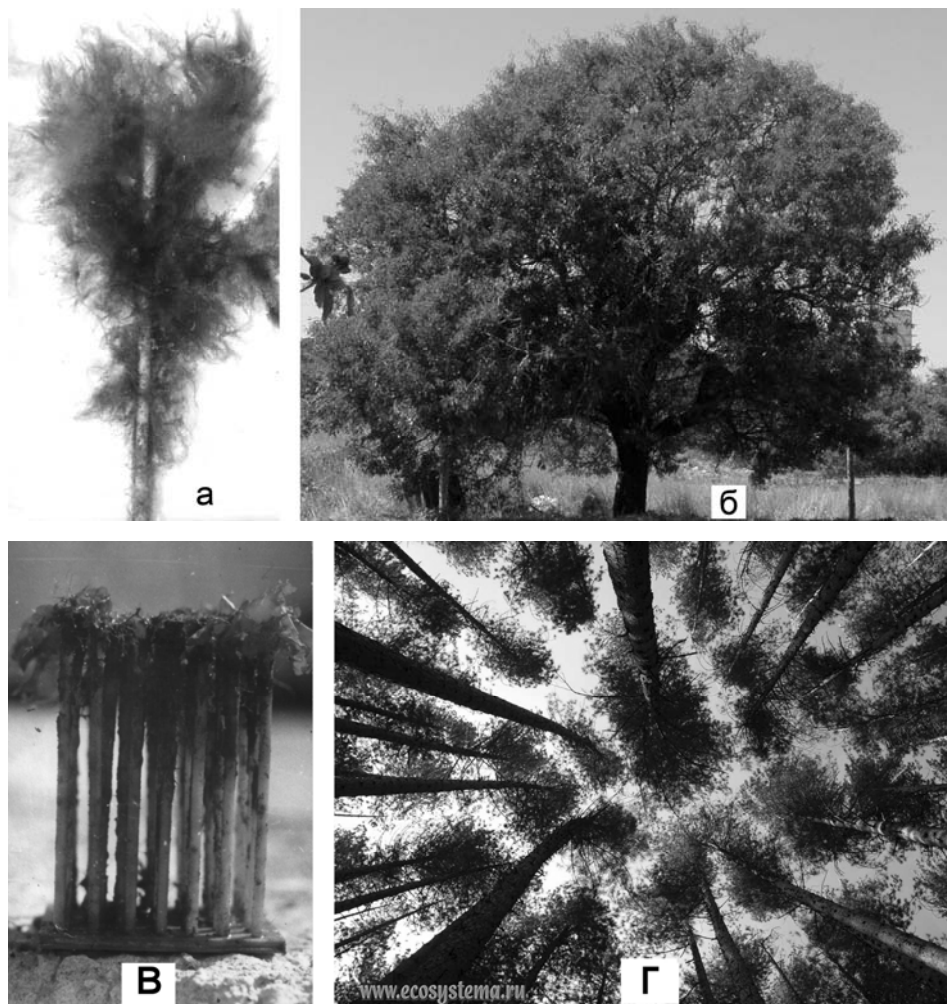


Рис. 5.14. Отдельно стоящая опорная структура, обросшая водорослями (а) по форме похожа на раскидистую крону отдельно растущего наземного дерева (б), а обросшие опорные структуры включенные в структуру рифовой конструкции (в) похожи на кроны деревьев высокорослого таежного леса (г).

Обратим внимание, что биокосные фитосистемы техногенного происхождения (рис. 5.15) и надтелесные системы биогенного происхождения (лекция 5.3, рис. 5.12) находятся примерно в одном диапазоне значений V_T , и имеют те же пределы изменения S_W . Однако обобщающие их регрессии отличаются углом наклона; значения коэффициента b в (7) соответственно равны: -0.008 ; -0.143 (рис. 5.15). Это говорит о том, что в биогенных надтелесных системах с увеличением их геометрического объема заполняемость биоорганическим веществом обитаемого пространства поддерживается в определенных пределах. Тогда как в техногенных фитосистемах с увеличением V_{n+k} увеличивается доля незаполненного биоорганическим веществом

пространства, а значит, снижается его концентрация. В этой связи можно сказать, что в создании рифовых конструкций необходимо предельным образом учитывать биологические и экологические особенностей растений, что не всегда удастся сделать, и поэтому антропогенно создаваемые системы проигрывают природным.

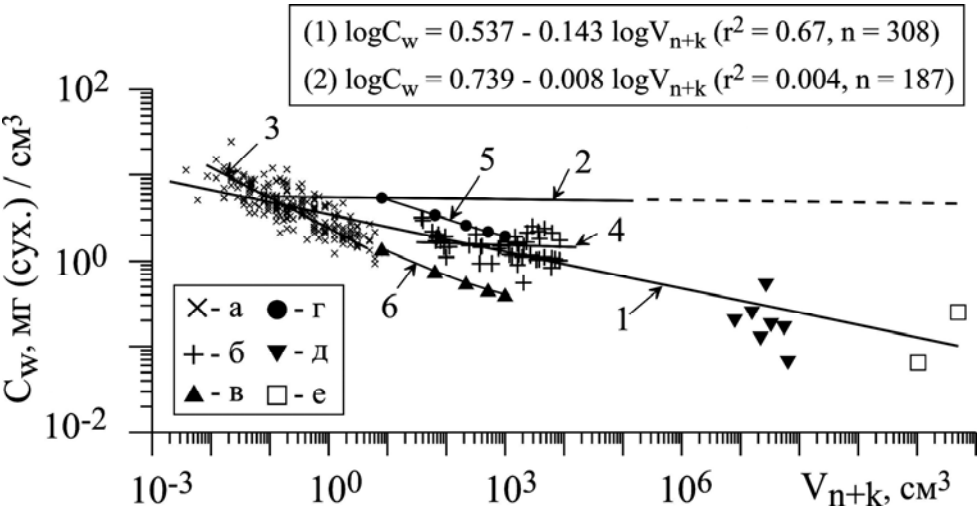


Рис. 5.15. Соотношение объема обитаемых пространств (V_{n+k}) и объемной концентрации сухого вещества (C_w) в фитосистемах на рифовых конструкциях и в плантационных системах: пологи зарослей многоклеточных водорослей (*Ceramium* sp., *Polysiponia* sp., *Callithamnion corymbosum*, *Enteromorpha intestinalis*) на отдельно вертикально стоящих опорных структурах (а); пологи зарослей многоклеточных (б, здесь те же виды водорослей, что и на отдельно стоящих структурах) и одноклеточных (*Licmophora flabellata*, *Navicula ramosissima*, *Nitzschia tenuirostis*, *Melosira moniliformis*, на модулях с плотностью расположения опорных структур 5.4 (в) и 106.8 (г) экз./дм² водорослей на рифовых конструкциях разного размера; пологи зарослей *E. intestinalis* (е – рассчитана по Хайлов и др. 1994) и *Laminaria saccharina* (ж) на плантационных системах. 1 – обобщающая регрессия для надтелесных БФ антропогенного происхождения. Линия 2 (надтелесные фитосистемы природного происхождения) перенесена под тем же номером с рис. 5.12. Объяснение остальных обозначений смотри в тексте.

В целом же между биокосными фитосистемами биогенного и техногенного происхождения не существует принципиальных различий. Те и другие имеют общие принципы формирования структурно-функциональной организации. Иерархический принцип заполнения пространства (формирование различного уровня «сгущений» биоорганического вещества) реализуется как в природных, так и в техногенных фитосистемах.

Лекция 5.5. Биокосные фитосистемы в метрике биогидросферы

Как уже было сказано в предыдущих лекциях, в биологии все видовое разнообразие живого мира обобщается филетическим деревом, а в биогеохимии целостное восприятие «мира биокосных систем» отражается в схемах иерархической организации биосферы и обобщается через разнообразие «видов» биокосных систем, представленных в общем метрическом поле. Такой подход количественно соотносит биокосные системы и определяет место каждой в их общем размерном ансамбле.

Ниже сделаем краткое феноменологическое описание биогидросферы. В одном метрическом поле представим все выше обсуждаемые биокосные фитосистемы (лекции 5.1 – 5.4), включая и геогенные (рис. 5.16).

Обратим внимание и на важную особенность в распределении биокосных фитосистем в координатах V_T и C_W , на их дискретное состояние.

А. В верхнем левом углу располагаются значения объемной концентрации сухого вещества в тканях многоклеточной водоросли цистозиры, то есть в телесном пространстве. В телесном пространстве осевых структур цистозиры C_W варьирует в узком диапазоне от 200 до 500 мг (сух. массы)/см³ и не связана с V_T ($\log C_W = 2.503 - 0.025 \log V_T$, $n = 382$, $R^2 = 0.02$). Диапазон варьирования C_W в тканях наземных растений составляет полтора порядка величин (60 – 930 мг (сух. массы)/см³, Гроздинский, Гроздинский, 1973).

Б. Телесные системы, будучи устроенными из клеток и тканей не могут, оставаясь только в своих границах (рис. 5.4 *а*) осваивать большие пространства. Ветвление тел многоклеточных растений, формирование колоний одноклеточных бентосных водорослей все это примеры освоения дополнительного жизненного пространства за пределами тела. В результате ветвления растение охватывает часть пространства, которое, по сути, не принадлежит ему как телу, но оно тесно связано с ним (рис. 5.4 *б, и*). Как видно из рис. 5.16 C_W в кроновых и субкроновых пространствах у разных видов многоклеточных водорослей на порядок ниже, чем в телесных системах и варьирует в диапазоне от 0.5 до 30 мг (сух. массы)/см³.

В. Размеры кроновых пространств многоклеточных водорослей ограничены возможностями тела растения (рис. 5.4 *б*), тогда как в популяциях (рис. 5.4 *н*) и сообществах (рис. 5.4 *р*) видов эти ограничения исчезают. Сообщества растений на поверхности земли или на поверхности дна водоема формируют растительные покровы, которые охватывают огромные пространства. По словам В. В. Вернадского, жизнь «растекается» по поверхности Земли.

Обратим внимание (рис. 5.16), что объемная концентрация сухой массы в пологах ценопопуляций цистозиры варьирует в тех же диапазонах, что и в ее кроновых и субкроновых пространствах (1 – 20 мг (сух. массы)/см³) и вместе они образуют общий коридор длиной в 6 порядков величин по шкале объемов, это третья часть от всего рассматриваемого диапазона V_T .

Г. Растения, хотя и ограничены определенными условиями жизни и занимают локальные участки, в целом же функционирование их неотделимо от функционирования всего водоема. Биокосная фитосистема водоема – это система, в которой в неразрывной связи находятся, с одной стороны, все растения водоема, а с другой, косное вещество и, в первую очередь, вся вода в границах водоема со всеми раство-

ренными и взвешенными в ней веществами, и воздух в надводном слое (рис. 5.6). Воздушную составляющую биокосных фитосистем водоемов особенно важно учитывать при наличии в водоеме водно-воздушной растительности (рис. 5.6 б).

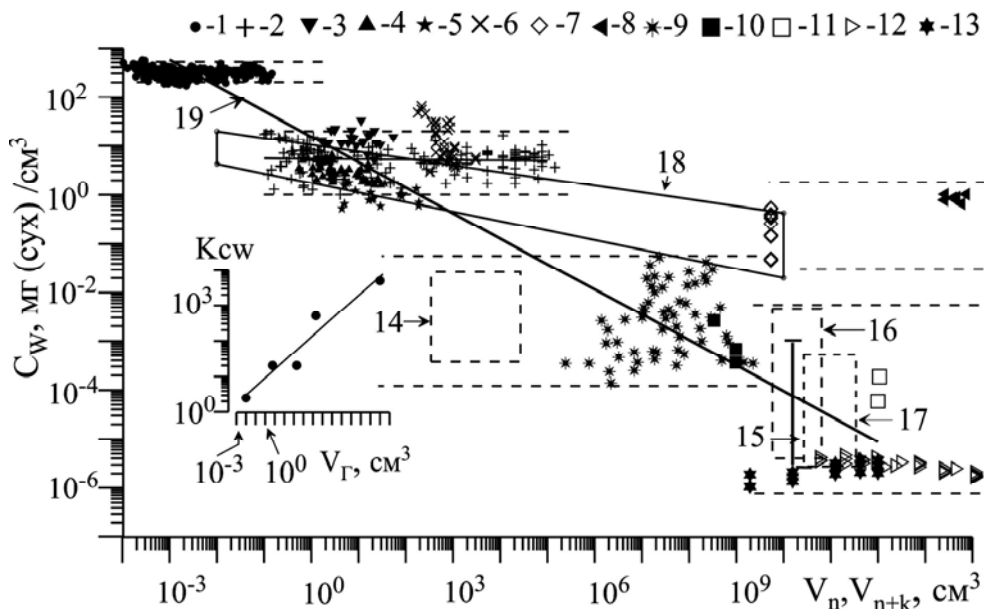


Рис. 5.16. Соотношение геометрических объемов обитаемых пространств (V_{Γ}) и объемной концентрации сухого вещества (C_w) в биокосных фитосистемах разного уровня организации и происхождения (по Празукин, 2005 б).

1 – осевые структуры цистозеры (*Cystoseira crinita*). 2 – кроновые и субкроновые системы слоевища цистозеры и пологи ее популяций. Кроновые системы многоклеточных водорослей: *Grateloupia dichotoma* (3), *Bryopsis plumose* (4), *Callithamnion corymbosum* (5). 6 – плавучий мат кладофоры. 7 – мелководное соленое озеро с макрофитными сообществами в разные сезоны года. 8 – лиманы с макрофитными сообществами (Корелякова, 1967). Мелководные озера с фитопланктонным сообществом (9, Хайлов и др., 1999), (14, Празукин и др. 2008). Фотический слой Азовского (10, Хайлов и др., 1999), Черного (11, Хайлов и др., 1999, 15, Маштакова, Роухияйнен, 1979, 16 и 17, Георгиева, 1993), Ионического (12, Ковалева, 1975) морей и Индийского океана (13 Ковалева, Кузьменко, 1986) с сообществами фитопланктона. Линией 18 ограничена область распределения значений C_w , принадлежащая техногенным биокосным фитосистемам (Празукин, 2003). Линия 19 – обобщающая регрессия ($\log C_w = 1.191 - 0.521 \log V_{\Gamma}$, $n = 726$, $R^2 = 0,88$).

Как видно из рис. 5.16 объемная концентрация биорганического вещества в биокосных фитосистемах лиманов, в которых преобладает водно-воздушная растительность (Корелякова, 1967), и небольшого гиперсоленого озера, где доминирующее положение (по биомассе) в фитоценозе озера занимает кладофора, варьирует в пределах полутора порядка величин ($0.05 - 1$ мг (сух. массы)/ cm^3). Крайние верхние значения концентраций совпадают со значениями в кроновых пространствах многоклеточных водорослей, а крайние нижние – со значениями в мелководных озерах с фитопланктонными сообществами.

Д. В координатах V_{Γ} и C_w фитопланктонные сообщества мелководных озер занимают собственную отдельную область. Область, протяженностью, в нашем слу-

чае, в 7 порядков по шкале объемов ($30 \cdot 10^2 - 30 \cdot 10^9 \text{ см}^3$) и, примерно, в три порядка по шкале C_W ($10^{-4} - 5 \cdot 10^{-2} \text{ мг (сух. массы)/см}^3$).

Е. Большие открытые участки глубоководных водоемов, по понятным причинам, способны осваивать только одноклеточные водоросли. Пример саргассовых водорослей больше исключение, чем правило. За пределами малых глубин обитаемый объем фитопланктона в океане располагается в его верхней части до нижней границы основного пикноклина (рис. 5.6 з). Расчет объемной концентрации сухой массы фитопланктонных сообществ глубоководных водоемов проводился на основании профилей вертикального распределения биомассы фитопланктона в фотическом слое. Для фитопланктонных сообществ фотических зон также характерны собственные пределы варьирования C_W . Максимальные значения совпадают со средними значениями C_W в фитопланктонных сообществах мелководных водоемов ($0.005 \text{ мг (сух. массы)/см}^3$), а нижние значения опускаются до $10^{-6} \text{ мг (сух. массы)/см}^3$.

Ж. Обратим внимание, что в размерном ряду водных биокосных фитосистем (тела растений, кроновые и субкроновые системы, растительные пологи, фитосообщества мелководных озер и фитопланктонные сообщества в фотическом слое различных морей) диапазон предельных значений объемной концентрации сухого вещества увеличивается. Отношение максимальных и минимальных значений C_W ($C_{W\max}/C_{W\min} = K_{Cw}$) коррелирует с геометрическим объемом систем ($\log K_{Cw} = 0.957 + 0.238 \log V_T$, $n = 5$, $R^2 = 0.93$, врезка на рис. 5.16).

З. Данные, полученные по рифовым конструкциям, практически полностью укладываются в границы распределений значений C_W в естественных системах разного уровня организации и происхождения (рис. 5.16). Отличительной особенностью здесь является то, что с увеличением размеров рифовых конструкций доля незаполненного растениями пространства увеличивается. Возможно с этим и связано снижение C_W .

* * *

Подводя итог сказанному, выделим следующие общие закономерности:

Водные биокосные фитосистемы независимо от уровня их организации и происхождения образуют в координатах V и C_W единый дискретный ряд. В ряду объектов наблюдается переход от компактно организованного пространства растений в их телесном облике с относительно небольшими геометрическими размерами и с высокой объемной концентрацией сухого вещества к надтелесным системам с большими геометрическими объемами обитаемых пространств, но с низкими значениями C_W , какими, например, являются фотические зоны глубоководных водоемов с фитопланктонными сообществами. В размерном ряду фитосистем в диапазоне 18 порядков величин, C_W различается от $500 \text{ мг (сух. массы)/см}^3$ до $10^{-6} \text{ мг (сух. массы)/см}^3$. Снижение объемной концентрации в рассматриваемом ряду объектов следует по определенному правилу: $\log C_W = 1.191 - 0.521 \log V$, $n = 726$, $R^2 = 0.88$ (при расчете уравнения не использовались данные по макрофитным сообществам мелководных озер и данные по искусственным рифовым конструкциям).

Скоррелированность C_W и V проявляется в объектах биогенных (биологических), геогенных (географических, как водоемы) и антропогенных (аквакультурные системы).

В координатах V и C_W биокосные фитосистемы располагаются дискретно, «слоями». Для каждого типа систем характерны определенные пределы изменений объемной концентрации сухого вещества. Размеры диапазонов предельных концентраций увеличивается с увеличением размеров геометрического объема систем

Лекция 5.6. Как организована биосфера? Вопрос остается открытым

В теме 1.2 (рис. 1.1) обсуждалась высечка из вселенского ряда природных объектов (примерно 30 порядков величин по линейному размеру). Существует также вселенская иерархическая схема состояния природы во времени. Она отражает общую последовательность этапов развития Вселенной, начиная с Большого Взрыва, породившего мельчайшие вещественно-волновые явления. В этом ряду выявляются как бы восходящие вверх “уровни организации” Природы. В качестве низшего уровня условно можно принять атом водорода. Далее идет уровень минеральных молекул и их кристаллических состояний, иногда с молекулярно-связанной водой. Затем уровень слабо гидрофильных органических и очень гидрофильных биоорганических молекул, переходящих в надмолекулярные структуры с полужидкой водой. В живых организмах воды еще больше, около 3/4 массы тела. Что же касается биокосных систем биогеоэкологического ранга, то их обводнение особенно велико. На графиках в *Школе* это видно по крутому снижению концентрации живого вещества, C_w , по мере увеличения пространственного объема, V (см. рис. 1.3 в лекции 1.2). Обводнение обитаемых пространств в гидросфере и заполнение воздухом при наземном обитании делает возможным закономерный выход живого вещества в окружающее земное пространство, “экспансию жизни”. С редким теперь научным восторгом об этом писал В.И. Вернадский, а философы-марксисты негодовали (Вернадский: Pro et contra..., 2000, с. 315 – 325; 328 – 333 и др.), полагая, что Партия (б) знает лучше.

Физическая картина развития Вселенной с уровнями усложнения организации закрепила в умах образованных людей общую идею развития от низшего к высшему, от простого к сложному (от хаоса к порядку; Пригожин, Стенгерс, 1994). Так сложился образ восходящей “вертикали”. Сознание ассоциировало его с расхожими бытовыми понятиями “выше” и “ниже” (голова у человека выше ног, крона дерева выше корней). Это банальное рассуждение приводится лишь с тем, чтобы подчеркнуть часто забываемую условность “верха” и “низа” (верх у лежащего человека не там, где голова). Любое из этих утверждений в отдельности отражает лишь одно из равновероятных состояний объекта.

Будучи еще в детском возрасте, биология сформулировала свое, виоцентрическое, понимание жизни и назвала главную проблему, которой отдалась целиком – объяснить эволюцию, развитие, прогресс жизни. Три эти термина логически коварны. Они создали понятийный клубок, которые биологи-дарвинисты распутывают уже два века и с места не очень сдвинулись (История биологии, 1975). Ситуацию еще больше запутали философы-партийцы мичуринской ориентации (Иванов, 1960; Правдин, 1968; Фурман, 1957), философы-профессионалы (Фролов, 1965; Карпинская, 1984; Организация и эволюция..., 1991) и системные любители (Всесвятский, 1985), к которым добавилось туманное российско-украинское философствование на экологические темы (Горизонты..., 1986; Шеляг-Сосонко, Крисаченко и др., 1991). Отдельно приведем примеры природно-мировоззренческой литературы более скромного вида (Критерий живого, 1971; Налимов, 1993; Пригожин, Стенгерс, 1994; Проблемы методологии..., 1970).

Во второй половине XX века биологи понимали “прогресс” как движение от низшего (простого) к высшему (сложному). Но поскольку “верх” и “низ” относительны, возникает пресловутая задача, как о яйце с курицей: что от чего? Примени-

тельно к клетке и биосфере: что появилось раньше? Это вопросы неверно поставленные.

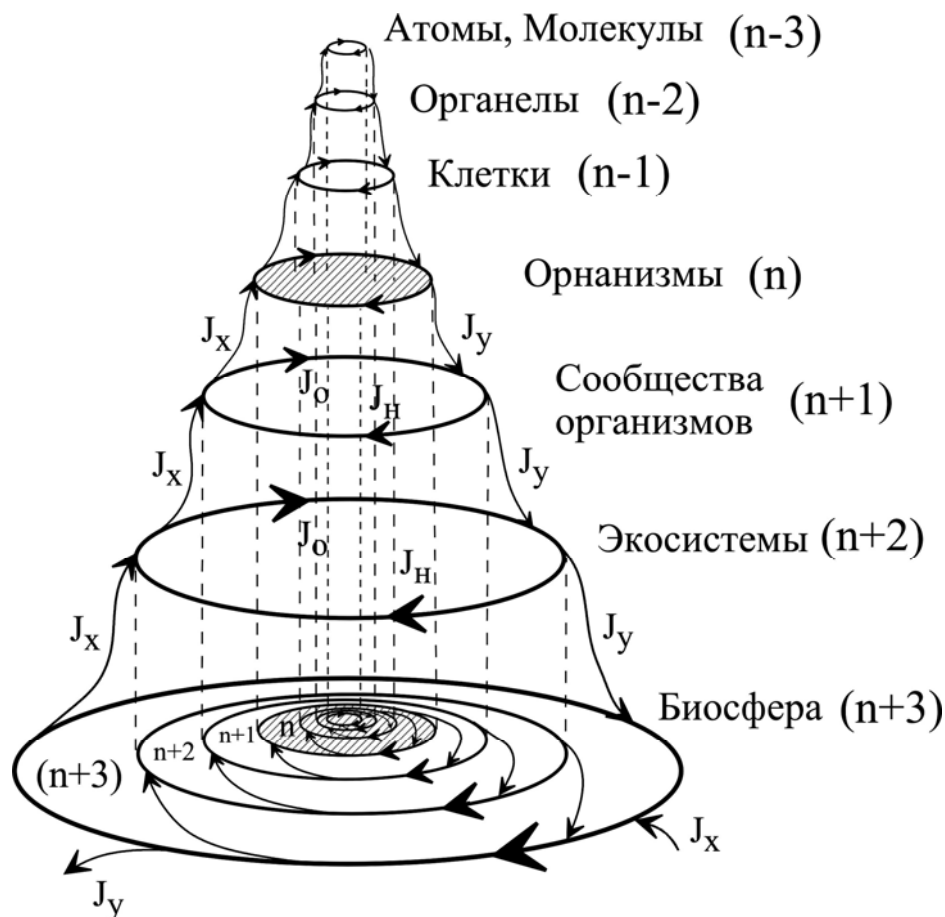


Рис. 5.17. Пирамида уровней организованности биосферы

В *Школе* высказывается убеждение, что интерпретацию жизни на Земле лучше начинать с Земли и ее биосферы (рис. 5.17), хотя это совсем не обязательно. Действительно, вторая часть *Школы* начинается с фитоиерархии, которую удобнее проходить в противоположном направлении – от телесных растений к надтелесным фитосистемам эколого-географического ранга. Между двумя этим интерпретациями жизни и ее эволюции никакого противоречия нет.

Обратимся, к пирамиде уровней на рис. 5.17. Она иллюстрирует научную абстракцию – иллюзорное движение снизу вверх, о котором говорил выше. При обсуждении в пятой теме структурно-функциональной организации многоклеточных водорослей, анатомически выраженной пирамиды уровней организованности не наблюдалось ни на визуальном изображении водорослей (рис. 5.1, 5.4), ни на графиках. По вертикальному профилю растения размещаются лишь морфологические гомологи разного типа – части сложного таллома (а у высших растений – междуузлия стеблей, листья, соцветия, цветки, семенные коробочки, плоды и корнеплоды; все это в самом разном порядке).

Самая важная группа вопросов возникает на границе между биологической и экологической реальностью. На схеме пирамиды уровней (рис. 5.17) видим, что за организмами следуют сообщества, экосистемы и биосфера. Но возникает вопрос: действительно ли экологические объекты эволюционно “выше”, биологических? Если это так, то на Земле происходила некая “сквозная”, через все уровни, эволюция с двумя этапами – биологическим и экологическим. В таком случае, спрашивается: шла ли она на основе какого то общего закона, или законы биологической и экологической части различны? А тогда каковы они? Поскольку законом эволюции организмов биологи считают конкуренцию, борьбу за существование и дарвиновский отбор, то остается ли все это в силе на экологическом участке пути и в биосфере в целом?

Что касается научной биологии, то разработанная в ней “синтетическая теория эволюции” (СТЭ) экосистемы и биосферу не интерпретирует. Доказательств конкуренции и борьбы за существование среди сообществ и экосистем ни биология, ни экология не имеют. Собственной теории эволюции, у экологии тоже нет. Так как же тогда эколого-географическая реальность развивается, эволюционирует, прогрессирует? Неизвестно.

Но существует ли такая проблема на самом деле? Существует, но не в естественных науках, а в головах отдельных биологов и у работников Минобраз России и Украины. Дело в том, что в середине XX века на территории бывшего СССР была искусственно создана учебная “общая биология”, границу научной биологии переступившая. Шаг этот, как и нынешние новации минобразников, был, скажем прямо, научно незаконным. Как результат, авторы учебников по этой дисциплине следом за организмом стали уверенно излагать материал о сообществах организмов, а затем об экосистемах и биосфере (по схеме на рис. 5.17, но сверху вниз, как бы от головы к ногам). В учебниках по “общей биологии” в России и в подсоветской Украине весь ряд уровней организации стал интерпретироваться в терминах дарвинизма. Это привело к ряду принципиальных противоречий на границе биологии с экологией, а также несоответствий с фактами экологии и ряда наук о Земле, изучающих экосистемы и биосферу (с лимнологией, океанологией, почвоведением и биогеохимией, которая является основой учения о биосфере по В. И. Вернадскому).

Характерный частный пример последствий такой эволюционной лексики можно найти в многократно переиздававшемся на украинском и русском языках государственном учебнике по общей биологии (Кучеренко и др., 2001). Излагая “сквозную” версию развития жизни, авторы и научные рецензенты учебника признали “средой эволюции” биогеоценозы. Это утверждение и все сопутствующие ему рассуждения (с. 373 – 377) является полным абсурдом. Кардинальные противоречия, которые при таком подходе возникают, подробно рассматриваются в другом месте (Хайлов и др., 2005, с. 243 – 263). Антинаучность объяснения эволюции жизни через все подряд биосферные уровни очевидна, поскольку популяции, сообщества, экосистемы, а соответственно и биосфера, являются эволюционными ровесниками, т.е. одновременно с появлением первых организмов появились их локальные популяции и сообщества, создавшие свои локальные экосистемы, сначала очень небольшого размера (бактериальная экосистема в почвенном слое, имеющая многомиллиардное население, может размещаться в 1 дм³ обитаемого пространства). Экологические уровни организации и свойственные им структуры и функции никак не могут быть эволюционным продолжением биологических уровней с их структурами и функциями. Безграмотные чиновники Минобраз Украины построили курс общей биологии в том же совершенно непригодном виде, в каком он был создан в советской России. В каком веке живем? И как будем строить природоведческое образование на уровне университетов?

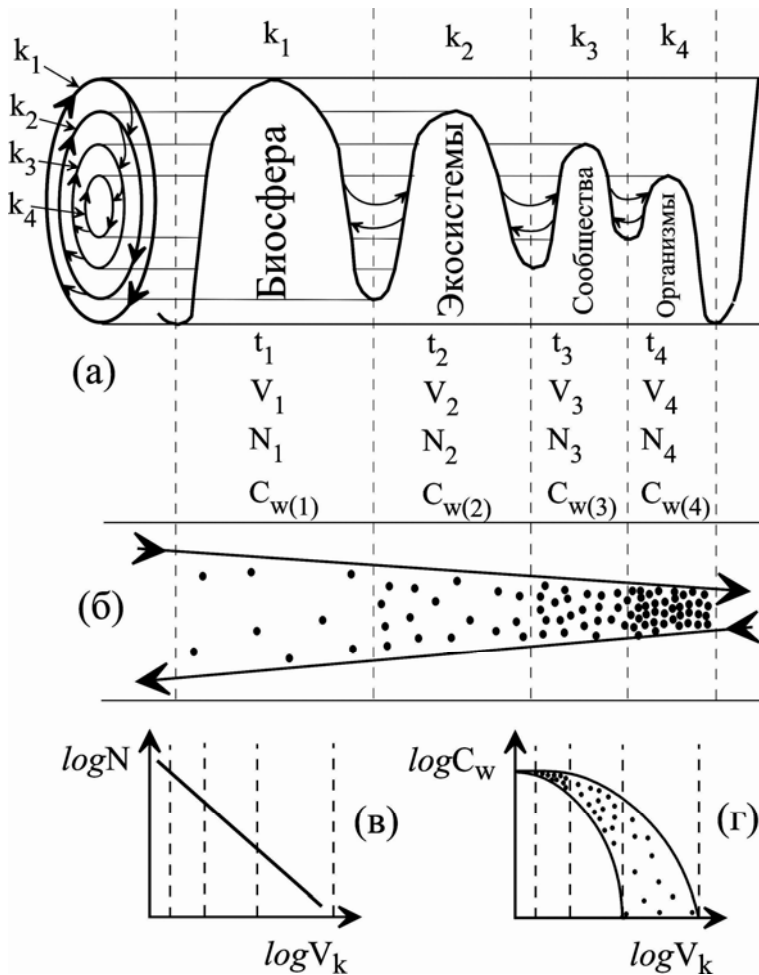


Рис. 5.18. Схема, обобщающая изложенные в *Школе* представления о структурно-функциональной (поточной) организованности биосферы.

(а) – Иерархия кольцевых потоков от глобального до внутриклеточного, развернута как циклический двунаправленный процесс. Стрелки отражают событийную динамику упрощения и усложнения системной организации вещества (“порядок хаос”) с соответствующими временами (t_k), численностью данного множества (N_k) и объемной концентрацией вещества ($C_{w(k)}$) в данном объеме пространства (V_k), здесь k – номер структурно-функционального уровня. Вертикально восходящего вектора в биосфере нет;

(б) – ряд состояний вещества при разных уровнях его организации. Чем больше номер порядка и объем, V_k , тем там больше характерная численность, N_k , объектов в данном множестве: см. также рис. 9.21 в лекции 9.4).

(в) – Чем больше k и V_k , тем ниже объемная концентрация, C_w на данном уровне организации (г), см также рис.1.3 в лекции 1.2

В *Школе* биосфера рассматривается как системное биокосное единство (Гео-Био-Социо). В очень схематизированном виде, в составе всего четырех уровней организации она представлена на рис. 5.18. Принцип кольцевой иерархии потоков вещества, энергии и информации, лежащих в горизонтальной плоскости соответствует нижнему ярусу иллюзорной пирамиды (рис. 5.17). Никакой структурно выраженной пирамиды и “вертикали уровней организации” в обитаемой области Земли не суще-

стствует; есть лишь наблюдаемые на графиках вертикальные профили разных характеристик (как и на отдельно взятом дереве или слоевище водорослей).

В секторе (а) на рис. 5.18 схема горизонтальных кольцевых потоков поставлена на бок и развернута в форме двунаправленного колебательного процесса. Своими входами и выходами (утечками и притоками) кольца связаны между собой в единую иерархию. Между максимальными потоками на уровне биосферы и, условно говоря, минимальными потоками на уровне клеток, располагаются кольцевые структуры в сообществах, популяциях и многоклеточных организмах. В секторе (б) под каждым уровнем организации выписаны их основные параметры, использованные в разных лекциях: t , V , N ; здесь N_k – характерная численность объектов каждого уровня организации, k , в единице объема, V_k , обитаемого пространства. В секторе (в) показано соотношение V_k и N_k (подробно см. рис. 9.22), а в секторе (г) – соотношение V_k и C_w (подробно см. рис. 9.17). В разных лекциях первой и второй части *Школы* имеются также и другие отображения биосферы и отдельных ее структур и уровней.

Заметим, что схема организованных состояний* и кольцевых потоков не вступает в противоречие с самой идеей развития, эволюции или прогресса в сфере жизни на Земле, но изменяет их интерпретацию в части направления: это движение не “снизу вверх” (прогресс и только прогресс), а “вглубь и наружу”, от мельчайших колец-вихрей к глобальному вихревому круговороту и одновременно в обратном направлении. При такой интерпретации оба направления – увеличение сложности и ее упрощение, т.е., нарастание хаоса, выступают как взаимодополняющая пара процессов. В спаренном виде это соответствует законам термодинамики, тогда как в однонаправленная вертикаль “прогресса” им противоречит.

Добавим к этому, что вопросам поточной организации биосферы посвящен обширный фонд междисциплинарных публикаций. Из русскоязычной научной и научно-образовательной литературы конца XX и начала XXI века особенно, на наш взгляд, может быть рекомендованы книги: под редакцией И.И. Гительсона и Н.С. Печуркина (2002), книга В.Г. Горшкова с соавторами (1995), Gorshkov et al., 2000. Метаболической организованности древнейшей биосферы посвящена книга Г.А. Заварзина (2004). Проблема остается открытой, все впереди.

*Одному из авторов книги модель эволюционной череды состояний была навеяна математиком С.И. Кропотковым.

Адаптации, ручное управление и диагностика биокосных объектов

Лекция 6.1. Управление обитанием в биокосных объектах

1. Разнообразие форм, целей и способов управления обитаемым пространством
2. Внешнее и внутреннее управление
3. Управляющие параметры и их действие в водных объектах типа “искусственный риф”
4. Управление обитанием организмов в агрономических и аквакультурных биогеотехнологиях

Желание управлять – едва ли не самое сильное людское устремление. Оно удовлетворяется в собственной семье, в домашнем благоустройстве, на общем дворе, на собственном дачном участке, в школе, на службе и работе, в карьерном росте и т.д. Вождение автомобиля (тоже биокосной системы: “живое вещество” в косном, комфортном вместилище) – одно из самых концентрированных, страстных форм управления. Первейшие и всеобщие средства управления домашним обитанием – температура, освещение, подача воды и воздуха. Речь идет не просто о присутствии этих “факторов среды” (они воспринимаются как должное), а о возможности в любую минуту оперативно изменять их характеристики по своему желанию. Не забудем, что жилой дом, обжитая квартира и личная комната – все это антропогенные, удобно управляемые, надтелесные биокосные системы.

1. Разнообразие форм, целей и способов управления обитаемым пространством

Непомерно вознося себя над всеми живущими на Земле, люди редко осознают, что право и умение управлять присуще всем без исключения “диким” живым существам. На протяжении нескольких миллиардов лет они это регулярно и успешно делают. Как и у людей, объектом управления у “диких” становится, прежде всего ближайшее обитаемое пространство и входящие в него физические, химические и биологические переменные. Всем известно, как кошки, собаки и другие животные ухаживают за своим мехом, а заодно и самым близким к телу слоем “окружающей среды”. Свой мех или перышки они расправляют, вылизывают, изгоняют из него насекомых. По сути дела, объем как бы отмеренной волосным покровом части всеобщей среды обитания, служат животным ближайшим “домом”, который они носят на себе (как человек носит одежду). Управляют собой и своим ближайшим обитаемым пространством также и все растения. В лекциях 5.1 – 5.3 было показано, что растения имеют множество средств (а можно бы сказать – *инструментов*) морфо-

функционального самоуправления. Внутреннее управление специфическим образом организовано на каждом телесном и надтелесном уровне. Есть и общие принципы структурно-функционального управления своим телом и ближайшим обитаемым пространством. Особенно ярко все это проявляется в онтогенезе тканевых растений.

При всем том, в жизни любого организма не менее важно управление им извне, так сказать, “принудительное”. Прежде всего, управлять организмом извне могут природные переменные – освещенность, температура воды, воздуха, почвы, общая соленость воды, наличие в ней те или иных веществ и т.д. Внешним действующим “фактором” по отношению к любым организмам является человек, или группы людей. Люди могут управлять другими существами сознательно, с определенной целью, даже вручную. В таком случае уместно говорить о *сознательном, целевом, ручном управлении*. Столь же, если не более, люди осуществляют в природе *бессознательное управление*. Как правило, это происходит в тех многочисленных случаях, когда, занимаясь какой-либо деятельностью люди не думают о том, как это может сказаться на окружающих живых существах и на косной природе. Между тем, почти все формы людской деятельности оказывают на живой и косный мир, на все его уровни организации воздействие той или иной силы, с самыми разными последствиями, для людей чаще всего негативными. Последствия бессознательной (бездумной, или по неосведомленности) людской деятельности могут быть быстрыми, замедленным и очень отдаленными.

2. Внешнее и внутреннее управление

В биокосных объектах основой внутреннего управления (авторегулирования функций, а соответственно и структур) является взаимодействие между косными и живыми компонентами. Любой организм, особенно многоклеточный и эволюционно развитый, представляет собой сложный метаболический и физиологический автомат, т.е. самоуправляемую (саморегулирующуюся) систему. Возможности внешнего управления функциями человеческого тела через структуру пищевого рациона были известны еще племенным шаманам, а древним врачам тем более. В современном мире средства управления физиологическими функциями людей, сельскохозяйственных и других животных чрезвычайно расширились. Началось массовое вживление протезов, пересадка сосудов и целых органов, генная инженерия и многое другое. Во всех случаях, когда в тело вводятся косные физические материалы, которые постепенно обрастают тканевой массой, происходит формирование в живом теле дополнительных или заменяющих биокосных органов.

Самым сложным и важным для человечества биокосным автоматом является современная биосфера со всем ее населением, включая людей. Человек и человечество с их управленческими амбициями являются по отношению к биосфере внутренним “управляющим фактором”. В идеальном случае право на ручное управление биосферными структурами и процессами должно бы базироваться на научном знании структурно-функциональной организации и “машинерии” биосферы, т.е. на понимании и соблюдении ее непреложных законов. Однако, на большей части своей истории люди о существовании биосферы даже не догадывались (как бактерии и прочие паразиты в теле человека не догадываются об укрывающем и питающем их теле хозяина; сравнение людей с бактериями, разумеется, не лестно ...). Людское управление в биосфере – и чем дальше, тем больше – идет вразрез с ее законами. Редкие, хотя периодами и впечатляющие успехи в природопользовании, при возрастающем количестве ошибок и просчетов во второй половине XX, а особенно в начале XXI века наглядно обнаруживают фатальное незнание природной организации биосферы, при

которой ее стабильность поддерживается автоматически. Людская “переделка природы” могла быть (или казалась) успешной лишь на малых отрезках времени, когда об отдаленных последствиях не задумывались, или их игнорировали. С течением исторического времени отдаленные последствия накапливались, создавая сначала незначительные, а затем все более угрожающие последствия, которые еще недавно назывались “экологическим кризисом”, а теперь осознаются как общесистемный кризис, охватывающий все главные биокосные компоненты – Гео, Био и Социо (социальные компоненты включают всю материальную, технологическую и духовную культуру человечества).

В медицинских рукотворных изделиях (например, вводимых в тело человека искусственных заменителях) управление их тканевым обрастанием происходит автоматически, под контролем живого тела. Иное дело – создание надтелесных биокосных объектов в биосфере. Типичный агрономический пример – виноградник, формируемый на основе целесообразно сконструированных опор и растяжек, направляющих оптимальный рост лозы и поддерживающих урожай ягод. Пространственная структура рукотворной плантации задается таким образом, чтобы облегчить выполнение агротехнических приемов (машинное рыхление междурядий, химическая обработка растений и т.п.).

В крупномасштабных промышленных изделиях (речные дамбы, рукотворные “моря”, водохранилища, прорытые сквозь земные породы тоннели и судоходные каналы), входящих в компетенцию экологии и биосферологии, масса косного вещества настолько превышает массу живого, что управляющая роль Гео в таких проектах не вызывает сомнений. Инженерные разработчики таких проектов вынуждены в значительной мере морфологии Земли подчиняться. Как это ни парадоксально, но Земля “знает”, как следует людьми управлять. Посылая человечеству кризисы, она учит их жить на себе бережно, по ее законам.

Перечислим основные формы *внешнего* управления экологическими объектами: а) свет как источник энергии и информации, заключенной в его спектральном составе, б) пищевые и сигнальные вещества в молекулярном состоянии и записанная в них химическая информация, в) упорядоченный (ламинарный, турбулентный) поток воздуха или воды с их аэро-гидродинамическими характеристиками и соответствующей информацией и г) твердый физический субстрат с информацией, имеющееся на разных уровнях его структурной организации. Отдельно следует назвать адаптации к использованию невозобновимых ресурсов биосферы. Люди используют подземные кладовые биосферы, ее “полезные ископаемые”. Хотя людские управленческие адаптации от биологических принципиально отличаются, они играют важнейшую роль в эволюции человечества.

Д.И. Менделеев прозорливо писал, что сжигание нефти – равносильно сжиганию ассигнаций, а можно сказать – сжиганию мудрых книг. И в самом деле, в химической структуре разных нефтей записана колоссальная нераскрытая информация о геологической, биологической и экологической истории Земли и жизни на ней. Гонимые прежде всего корыстью безграмотные государственные добытчики и потребители нефти и горючих продуктов из нее (а за ними все население так называемых “передовых стран мира”) превращают эту земную информацию в деньги и другие людские “пузыри”. На печальном примере первого глобального кризиса (2008 г) видно, что самые “хищные”, энергодобывающие и энергопотребляющие экономики мира оказываются в наиболее остром и сложном кризисном положении, платя за ошибки человечества в субглобальном и глобальном масштабе.

Ниже будет рассматриваться примеры передачи геометрической информации с косных тел к живым в масштабе миллиметров – дециметров.

3. Управляющие параметры и их действие в водных объектах типа “искусственный риф”

Обсудить приемы управления обитанием водных растений в составе объектов надтелесного типа удобнее всего на примере так называемых “искусственных рифов” (ИР). В основе экотехнологии ИР лежат размещаемые в водоемах инженерные конструкции, специально создаваемые для их естественного заселения водными, преимущественно морскими организмами. Цель ИР – предоставить организмам-поселенцам, начиная с бактерий и водорослей, подходящий по свойствам и значительный по площади твердый субстрат для закрепления на нем и последующего роста живой массы. ИР размещаются на дне прибрежных акваторий, с преобладанием мягких грунтов, на которых мало удобных для поселения донных водорослей каменистых участков.



Рис. 6.1. Установленные на подводном стенде и обросшие многоклеточными водорослями стержень (а), конус (б).

Искусственные рифы создаются для разных целей, в основном следующих: 1) привлечение в акваторию хозяйственно или декоративно ценных видов рыб; обычно при этом преследуются рыболовно-рекреационные цели; 2) получение биомассы, пригодной для пищевого, кормового или технологического использования; 3) проведение локальной (например, в загрязняемых или сильно эвтрофируемых акваториях) мелиорации (биологической очистки) водной среды. Как правило, три названные цели могут одна другой сопутствовать. Поскольку подробное обсуждение обширной тематики ИР в нашу задачу не входит, рассмотрим лишь общие принципы управления биообрастанием через конструкцию ИР.

Любой вертикально стоящий стержень на морском мелководье обрастает водорослями, становясь похожим на развесистое дерево, тогда как на конусообразных телах формируются ковровые покрытия (рис. 6.1 а, б). На другой фотографии (рис. 6.2) видно, что стрелки, сгруппированные в модули, образуют пологи, можно сказать – “лес с искусственными стволами”. Диаметр и высота стержней и конусов – два сразу заметных управляющих фактора. Чем меньше диаметр стержня или конуса, тем более мелкие водоросли на нем поселяются и наоборот. Например, привязанная под

водой рыболовная леска толщиной 0.2 мм через некоторое время обрастает одноклеточными диатомовыми водорослями. На леске толщиной 2 мм селятся одноклеточные и нитчатые водоросли. На канате толщиной 2 см врастают аларии, ламинарии и другие водоросли с крупными слоевищами. В морской аквакультуре это правило широко используется с учетом хозяйственных целей.

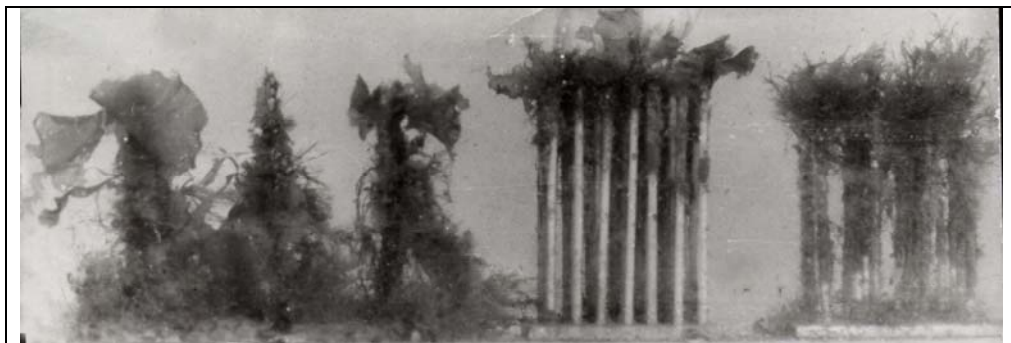


Рис. 6.2. Обросшие многоклеточными водорослями стержни в составе модулей. Модули состоят из групп стержней с разной частотой расположения (“плотностью популяции”). На косной матрице формируются искусственные подводные пологи многоклеточных водорослей. Их обитанием составе ИР можно управлять, целесообразно задавая разную “плотность популяции” стержней, их высоту и диаметр. Как плотность обрастания стержней связана с их диаметром, показано на рис. 6.3 в.

При фиксированных значениях высоты и диаметра физических субстратов в составе модулей управляющим фактором является плотность “популяции стержней”. При небольшой плотности расположения стержней на черноморском мелководье формируется сообщество с примерно одинаковой массой пластинчатой раскидистой ульвы и энтероморфы, как на рис. 6.2 слева. Им сопутствуют разные нитчатые и одноклеточные водоросли. На редко стоящих стержнях сообщество крупных слоевищ имеет “подлесок” из мелких водорослей. При большой плотности “популяции стержней” (модуль в центре) верхний ярус занят мелкой ульвой вместе с энтероморфой. При средней плотности расположения стержней (модуль справа) преобладает мелкая энтероморфа, образующая полог в верхней и средней части модуля. Ульвы мало или она очень мелкая. Из Рис. 6.1 и 6.2 следует, что, *изменяя размер и “плотность популяции” стержней или конусов в составе ИР, можно управлять сразу несколькими биоэкологическими характеристиками сообщества макрофитов.*

Чтобы перейти от качественных соображений и выводов к рациональному объяснению влияния “плотности популяции” стержней, необходимо выразить ее в численной форме. В биологии плотность популяции чаще всего выражают как отношение численности особей (N) к площади поверхности (S_0 здесь нижний индекс “0” показывает, что это площадь грунта), на которой организмы обитают (N/S_0). Для характеристики модулей, высота стержней в которых бывает разной, показателем “плотности популяции” стержней следует считать общую площадь боковой поверхности стержней, S в составе модуля. Она равна: $S = (N \cdot S_{\text{стержня}}) / S_0$, где N – количество стержней в модуле, и S_0 – площадь основания модуля (“грунта”).

Теперь можно сформулировать задачу для изучения действия управляющих переменных в натурном, т.е. проведенном непосредственно в море эксперименте. Задача состоит в том, чтобы выявить и численно описать вид функции: $W/S_0 = f(S/S_0)$. Здесь W – общая биомасса водорослей на поверхности S всех стержней. Дробь W/S_0 отражает плотность обитания. Ряд экспериментов, проведенных с модулями

разного типа, показал, что эта зависимость имеет вид одновёршинных кривых (Рис. 6.3 а). Принципиально важным параметром, управляющим плотностью обитания водорослей на ИР, является безразмерное соотношение S/S_0 , подробно обсуждаемое в лекциях 6.2 и 7.3. Положение максимума на каждой кривой зависит от величины удельной поверхности (S/V) стержней, которая обратно пропорциональна их диаметру (D) что следует из рис. 6.3 б, в.

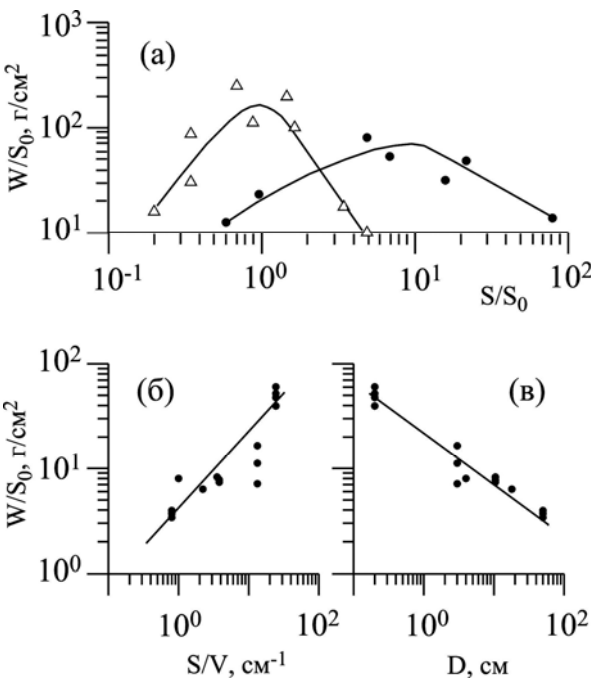


Рис. 6.3. Пример управления биомассой макрофитов на поверхности единичных стержней:

(а) Соотношение между плотностью обитания водорослей на стержнях модуля (W/S_0) и безразмерным коэффициентом S/S_0 .

(б) Соотношение между S/V стержней и плотностью обитания (W/S_0) водорослей;

(в) Соотношение между диаметром D стержней и плотностью обитания водорослей.

Запишем уравнения для отдельного стержня:

$$W/S_0 = a (S/V)^b \tag{1}$$

и

$$W/S_0 = a (D)^{-b}. \tag{2}$$

Столь же закономерно с увеличением S/V стержней (уменьшением их диаметра) возрастает интенсивность их обтекания водой, что содействует росту растений на стержнях. Таким образом к перечную переменных, присущих косной матрице ИР и управляющих обитанием водорослей, относятся S/V (1) и D (2) стержней.

Диаметр стержней определяет не только плотность обитания макрофитов на единице и боковой поверхности, но также биологический состав видов водорослей в сообществе. Весной на мелководьях Черного моря появляются и расселяются два совместно обитающих вида – энтероморфа и церамиум. В это время на подводном стенде в мелководной бухте был проведен эксперимент с задачей: найти способ управлять соотношением на модулях ИР обитанием энтероморфы и церамиума. В качестве косной основы на стенде был размещен ряд отдельно стоящих стержней разного диаметра (раздельно и в группах, как на рис. 6.1 и 6.2). Через 35 дней на стержнях выросли сообщества, включающее два эти доминирующих вида.

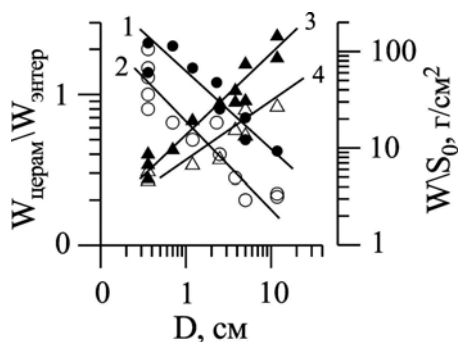


Рис. 6.4. Пример управления биомассой макрофитов на ИР, на котором обитает сообщество водорослей с двумя доминирующими видами – энтероморфой (группа зеленых водорослей) и церамиумом (группа красных). Управляющие параметры ИР показаны на рис. 6.5. Целесообразно их изменяя, можно управлять скоростью роста, видовым составом сообщества и урожаем водорослей. Пояснения в тексте.

На рис. 6.4 линия 1 и 2 (стержни единичные и в группах соответственно) показывает, что с увеличением диаметра стержней плотность поселения обоих видов, $W/S_{\text{бок}}$, уменьшается согласно уравнению (2). В то же время из рис. 6.4 (линии 3 и 4; стержни единичные и в группах соответственно) следует, что биологический состав сообщества макрофитов ($W_{\text{церам}}/W_{\text{энтер}}$) существенно зависит от диаметра стержней. Чем диаметр больше, тем в большей мере в весеннем черноморском сообществе зеленая энтероморфа преобладает над красным церамиумом. Следовательно, *изменяя физические параметры косной матрицы ИР, можно управлять также и видовым составом растений в сообществе.*

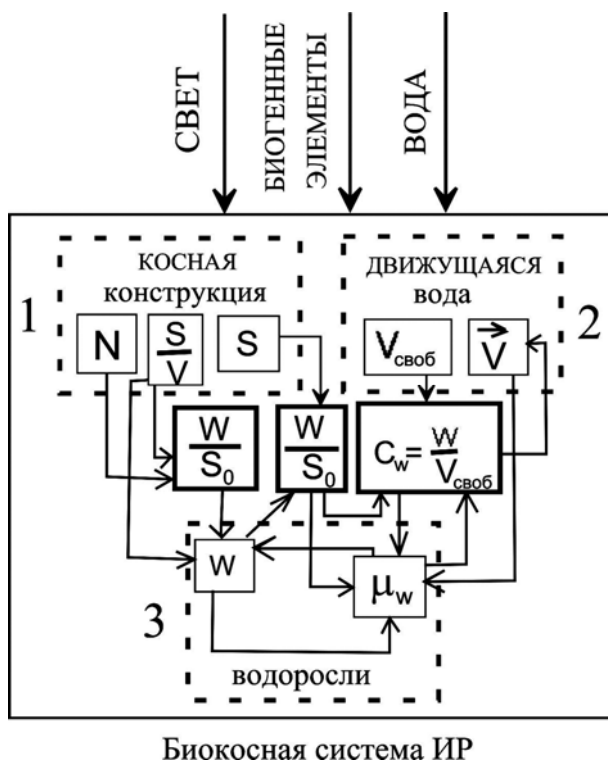


Рис. 6.5. Блок-схема управления фитообращением в составе ИР. Пояснения в тексте.

Еще одной существенной переменной в составе любого ИР является скорость проходящего через объем V_{n+1} потока воды. Поток воды не только несет с собой растворенные химические вещества (питательные или токсические регуляторы),

но влияет на скорость роста растений физическим путем – через режим обтекания (ламинарный, турбулентный). Режим обтекания поверхности объекта (будь то косный стержень или живое растение) определяет интенсивность физико-химического взаимодействия объекта с водой (примеры обсуждаются в лекции 6.2). Значение $\mu_{\text{воды}}$ важно потому, что от нее зависит интенсивность потребления питательных веществ растениями на стрежнях, а соответственно интенсивность роста фитообрастания ($\mu_{\text{растений}}$).

Как биокосная система, модуль в целом характеризуется геометрическим объемом (V_{n+1}) в пределах внешнего контура, общей массой растений (W) на конструкции, а также объемной концентрацией массы в свободном пространстве модуля ($C_w = W/V_{\text{своб.}}$, где $V_{\text{своб.}} = V_{n+1} - \Sigma V_{\text{стержней}}$). Важное биоэкологическое значение параметра C_w неоднократно обсуждалось в предыдущих лекциях.

Проведенное выше обсуждение экспериментального ИР с черноморскими водорослями раскрывает некоторую часть сети *системного управления* с помощью искусственно введенного в экосистему твердого субстрата и протекающе через ИР потоки воды. Блок-схема управления макрофитами на ИР через его физические характеристики показана на рис. 6.5. Внешними условиями обитания и жизни растений является поступление на вход ИР света, биогенных элементов и воды. На рис. 6.3 и 6.4 были показаны отдельные “рычаги”, управляющие обитанием водорослей. На рис. 6.5 отражена *системная логистика экотехнологического управления обитанием водорослей в составе ИР*. Блок-схема ИР для водорослей (сплошная обводка) состоит из трех основных частей: 1) косной конструкции, 2) протекающей через ИР воды и 3) водорослей. Три параметра, (штриховая обводка) являются биокосными: W/S_0 , W/S и C_w .

Косные управляющие параметры ИР – диаметр, D , и удельная площадь поверхности, S/V , отдельных стержней, а также групповые характеристики (плотность “популяций” стержни в составе модулей, выражаемая параметрами N и W/S_0). В системе имеются также и другие управляющие переменные, в частности, скорость протока воды сквозь риф. В качестве двух результирующих (“выходных”) параметров ИР на блок-схеме показана общая масса водорослей и интенсивность роста живой массы (μ_w). Как видно из схемы, они связаны двумя положительными связями - прямой и обратной стрелками. Обратные (авторегуляторные) связи имеются и между некоторыми другими элементами системы ИР, но здесь они не обсуждались. Подробное обоснование и обсуждение способов управления в ИР можно найти в специальных публикациях (например: Хайлов и др., 1994, 1995, 1998, 1999, 2000; Празукин, Хайлов, 1998; Празукин, 1999, 2001; Юрченко, 1999).

4. Управление обитанием организмов в агрономических и аквакультурных биоготехнологиях

В житейской практике у растений, животных и людей объектом управления и оптимизации обычно являются отдельные “рычаги”. Например, малограмотный ямщик вполне успешно управляет лошадью с помощью окрика, вожжей и кнута. На самом же деле управляет лошадь: голосом и вожжами ямщик лишь включает в действие автоматическую систему ее *самоуправления*. Под действием знакомых лошади простых сигналов автоматически приходит в действие сложная система скоординированных органов, управляющий “автопилот” (для ямщика это “черный ящик”). Практика использования ИР, например, с целью увеличить в природной акватории популяцию местных рыб, долгое время оставалась таким же примитивным, но успешным действием, не требующим понимания экосистемы (посложнее лошади).

Приведем два примера примитивного управления с помощью простых “рычагов”, за которыми в действительности стоит сложная биоэкологическая автоматика. На Белом и Баренцевом морях ламинария растет на донных камнях и валунах. Зная это, жители издавна искусственно забрасывали морское мелководье камнями, значительно повышая добычу этих ценных водорослей. Камни и валуны бывают разного диаметра, а от диаметра камней зависти состав обрастания: на мелких обитают виды водорослей с мелкими слоевищами, а на валунах – крупные, ценные ламинарии. От того, какого размера на дно высыпан каменный “посевной материал”, зависит результат примитивного управления.

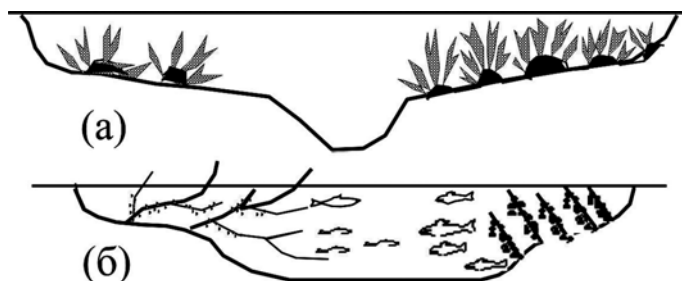


Рис. 6.6. Два типа примитивных ИР:

(а) – В заливе с преобладанием мягких грунтов разбрасываются камни и валуны. Увеличение за счет этого площади твердой поверхности увеличивает урожай ценных водорослей.

(б) – В заливе размещаются сухие ветки кустарника – косного субстрата, на поверхность которого сельдь откладывает свою икру.

Другой пример – беломорская сельдь. Она откладывает икру на отмерших ветках полупогруженных кустарников. Северяне специально размещали на дне пучки старых веток, расширяя площадь для сельдяных кладок. Тем самым рыбаки увеличивали местную популяцию ценной сельди. В обоих случаях люди, как ямщик вожжами, включали в действие, формирование в прибрежной экосистеме локальных природных автоматов, управляющих обитам и жизнью водорослей и популяций сельди.

Исходный (древний, эмпирический) вариант управления беломорскими ламинариями и сельдью схематически показан на рис. 6.6 *а* и *б*.

Понятно, что современные методы управления в водных и наземных экосистемах могут быть только наукоемкими экотехнологиями. В наземном растениеводстве они разрабатываются на основе теории урожаев (Росс, 1975; Тооминг, 1984) и широко используются (Шатилов, Чудновский, 1980). Существуют и во всем мире широко используются также современные технологии искусственного выращивания одноклеточных водорослей и бактерий.

Лекция 6.2. Учебные модели распределения растений на экспериментальном рельефе Земли

1. Адаптации к земным условиям как учебная тема
2. Модели рельефа Земли в руках начинающих студентов
3. Адаптивное обитание одноклеточных водорослей на физических моделях подводного рельефа

Одной из главных природных форм управления в биосфере, действующих на протяжении всей ее четырехмиллиардной истории, является *матрицирование*, т.е. перенос, “впечатывание” информации косного носителя (местообитания), в структуру живого объекта (отдельной особи или группы особей). Вопрос о том становится ли такой управляющий *инпринт* наследственным, или используется организмом только для оперативного управления, мы здесь опускаем.

Крупнейшими по масштабу и самыми емкими носителями информации, т.е. управляющего воздействия, записанного в морфологии и в химических структурах поверхности Земли, являются ее геоморфология. Можно предположить, что при формировании первичных, еще доклеточных, живых структур информация считывалась непосредственно с молекулярных матриц разнообразных земных минералов (контактный синтез) и через реакции биосинтеза при участии абиогенной АТФ переносилась в живые структуры. Быстрое формирование в конце XX века новой области науки – фрактальной геометрии, открывает широчайший спектр разномасштабных структур Земли, пронизывающих все уровни ее организации, вплоть до глобального.

Носителями крупномасштабной информации является, прежде всего, поверхность континентов с их богатейшим выпукло-вогнутым рельефом, а также береговая граница суши – место соприкосновения трех главных сред – тверди, воды и воздуха (Мандельброт, 2002; Лебедев и др., 1974). Геоморфологическая информация континентов и островов, океанов и озер переносится на их биотические комплексы, формируя (вместе с климатом) их флору и фауну. Между молекулярными матрицами земных минералов (в нано-масштабе) и геоморфологическими матрицами континентов и океанов (в географическом масштабе) лежит огромное разнообразие других матриц, несущих не себе информацию Земли. По отношению к жизни все они выступают в качестве управляющих факторов. Из всего этого разнообразия в учебниках биологии упоминаются и разъясняются лишь молекулярно-генетические матрицы и принципы их работы. Механизмы передачи земной информации через другие типы фрактальных матриц в системе образования не учитываются. Это зияющий пробел в Знании.

1. Адаптации к земным условиям как учебная тема

Адаптации к среде обитания отражают, вероятно, основной тип “усвоения” организмами и их сообществами информационных сообщений, посланий Земли. Одна из важнейших составляющих обитания – адаптация поселенцев, либо к каким то постоянным локальным условиям, либо к текущему изменению условий в данном месте. Существенное различие этих и других адаптивных (а по сути – информационных) задач в учебниках по биологии обычно не разъясняется. В начале XXI века из-

вестно, что адаптации к разным внешним переменным происходят на всех уровнях организации жизни в биосфере. Однако, ни в классических основах дарвинизма, ни в современных учебниках по биологии не разъясняется, присущи ли разным уровням жизни специфические формы и механизмы адаптации? Или же на всех уровнях организации живых тел механизм генетических адаптаций один и тот же – отбор на уровне особи? Все ли уровни организации сложных тканевых организмов адаптируются к внешним условиям, по каким то единым правилам, или общих правил нет? Если на уровне средней школы такие вопросы излишни, то в университетах природоведческого профиля их необходимо задавать. Умение ответить на них означало бы серьезное понимание темы адаптаций.

Базовый принцип Ле-Шателье, смысл которого совпадает с биологическим смыслом адаптаций живых тел (адекватный ответ на внешнее воздействие), в средней школе рассматривается в учебниках по химии. Почему в учебниках по биологии сопоставление двух этих интерпретаций не дается? Для понимания сути адаптаций это было бы очень полезно. Не ставится в учебниках и вопрос о *количественной мере* либо происходящего адаптивного изменения, либо состоявшейся приспособленности. Иными словами, нет численной оценки продвинутости того или иного биологического вида по степени адаптированности. Даже сама постановка вопроса о численной мере в задачах по адаптации в иерархически организованных системах имеет немалый учебный смысл. Не ставя перед собой и не обсуждая перечисленных выше вопросов, что же мы знаем о биологических адаптациях?

В учебниках для средней школы и в большинстве учебников для высших учебных заведений научно, современно обоснованными являются лишь разделы о материально-генетических основах изменчивости и наследственности. Напротив, биологические описания и интерпретации адаптаций и адаптивной эволюции в учебниках начала XXI века находятся на уровне XIX века.

Что касается водных и наземных многоклеточных растений со сложным, обычно сильно рассеченным телом и большой внешней (ассимиляционной) поверхностью, то различия в механизмах адаптации на разных уровнях их телесной организации весьма значительны. Обсуждение в лекциях пятой темы структурно-функциональной динамики в онтогенезе иерархически организованных фитосистем показало, что на разных уровнях эта динамика одновременно и специфична и базируется на общих регуляторных принципах, не имеющих с естественным отбором ничего общего.

Из биологии тема адаптаций переходит в экологию, где возникают аналогичные вопросы, тоже в основном без ответов. Структурно-функциональные адаптации растительных покровов, образуемых локальными популяциями и многовидовыми и сообществами растений, заведомо не могут совершаться одинаковым образом. Тем более эволюционные и каждодневные адаптации не могут быть идентичными на всех уровнях организации биосферы, от клеток фотосинтезирующих бактерий до растительности экосистем. Так что же мы знаем из учебников об (а) эволюционных и (б) о каждодневных, фенотипических адаптациях на разных уровнях организации биосферы? Даже различие между процессами типа (а) и (б) в учебниках биологии, как правило, не разъясняется.

В предыдущей лекции об обитании водорослей на искусственных рифах (ИР) речи об адаптации не было. Было введено намеренное упрощение ситуации – допустили, что все испытуемые модули ИР находятся на подводном стенде в условиях одинаковых по освещению, температуре, питанию и водообмену. Разными были лишь начальные условия обитания – геометрические различия в конструкции модулей. Поскольку к этим условиям водоросли адаптировались в море и исследователями не контролировались, вопрос об адаптациях остался без внимания. Теперь же рас-

смотрим обитание специально под углом зрения адаптации водорослей к заданным начальным условиям, тоже геометрическим.

Для этого эксперимент удобнее проводить не с многоклеточными, а с одноклеточными растениями. Дело в том, что рост и адаптация одноклеточных организмов происходит в несколько раз быстрее, так что за 2 – 3 недели подводного эксперимента успевают сложиться почти стабильные сообщества, тогда как у многоклеточных водорослей адаптация особей и сообщества может длиться несколько месяцев и лет (лекция 5.1).

2. Модели рельефа Земли в руках начинающих студентов

Поясним модельную задачу, позволив себе (без обиды для географов) максимально упростить внешний облик Земли. Представим себе богатый разнообразными формами выпукло-вогнутый земной рельеф в виде комбинации геометрически правильных конусов, расположенных на поверхности шара. В идеальном виде картина будет такой (Рис. 6.7): рельеф условной Земли предстает как геометрически правильная сфера с “популяцией” пространственных структур на ее поверхности. Это выпуклые идеальные конусы (имитация разного рода и размера поднятий – возвышенностей, невысоких гор и вздыбленных вершин). Абстракция и ничего более. Но можно изготовить вещественные модели конусов и с ними реально работать. Из живых существ, для опыта подходят только одноклеточные морские водоросли. Моделировать обитание на вещественных моделях конусов будем на мелководье Черного моря.

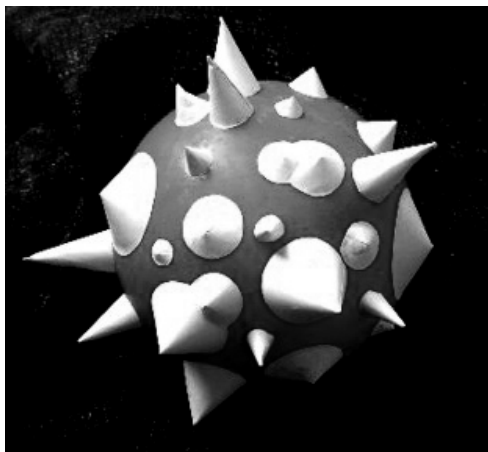


Рис. 6.7. Физическая модель упрощенного рельефа Земли – геометрически правильная сфера с “популяцией” конусообразных структур на ее поверхности. Геометрические параметры конусов являются управляющими “геоморфологическими матрицами”, информация с которых передается поселившиеся на конусах сообщество одноклеточных водорослей, определяя скорость их роста и стационарную биомассу. Однако, отражая геоморфологическую реальность, такая модель непригодна для поведения опытов в море (пояснения в тексте).

Проводить эксперимент со сферической, как на рис. 6.7, моделью Земли в реальной морской акватории не следует, что и понятно: какие то конусы неизбежно попали бы в тень шара, что в опыте недопустимо. Потому “популяцию” выпуклых конусов разместили на поверхности плоской экспериментальной платформы (рис. 6.8 *верхний*), установленной на морском мелководье. Конусы для обрастания водорослями были изготовлены в дух морфологических вариантов – с гладкой и ребристой поверхностью. В этой лекции речь пойдет только о гладких конусах, с которыми работал студент Дмитрий Смолев. При размещении на строго горизонтальной поверхно-

сти подводного стенда все конусы были в одинаковых условиях подводной температуры, освещения и обтекания водой.

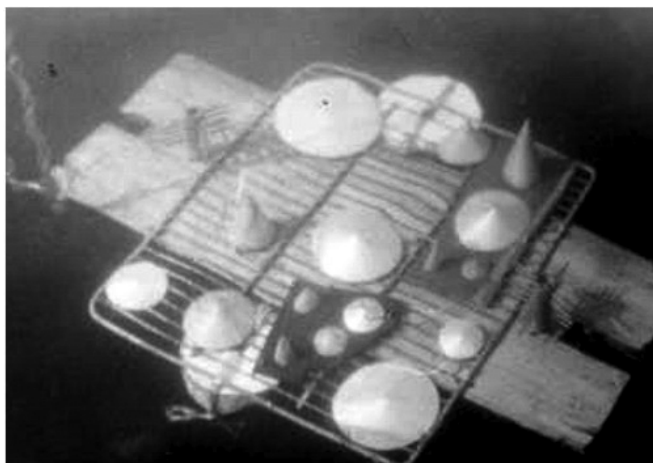


Рис. 6.8. *Фото сверху* – Фото плоского подводного стенда, горизонтально установленного вблизи поверхности воды в морской прибрежной акватории, защищенной от морского прилива. На поверхности стенда в случайном порядке расположены конусы разной формы и размера, обрастающие одноклеточными водорослями; *Фото внизу* – Тот же стенд с конусами в конце эксперимента в руках студента Д. Смолева. Темный слой на поверхности конусов – покров из одноклеточных водорослей. Биомасса водорослей определяется геометрией конусов. По таким же принципам на морских мелководьях водорослями обрастают раковины живых и отмерших моллюсков. По таким же принципам в стометровом фотическом слое воды обрастают крупными водорослями подводные возвышенности и гористые пики.

В подводном положении все физические тела в той или иной мере обрастают разными гидробионтами. Первыми поселяются бактерии и одноклеточные водоросли. Для последующего учета одноклеточного обрастания конусы “популяции” перед

размещением на стенде были покрыты предварительно взвешенной жесткой пластмассовой пленкой, которая по окончании опыта была с каждого конуса снята, высушена и снова взвешена (по разности конечного и начального веса определен прирост массы водорослей за время опыта). Под водой конусы пробыли 20 дней и за это время естественным образом обросли тонкой пленкой из одноклеточных водорослей разных биологических видов. На каждом конусе сформировалось свое население, успешнее или не успевшее, что увидим позже, приспособится к геометрии на двух уровнях организации – уровне отдельных клеток (физиологическая адаптация) и на уровне фитоценоза (экологическая адаптация – за счет комбинации разных видов).

Были изготовлены две разные “популяции” выпуклых конусов – 1Д и 2Д, различающихся своей геометрией. Конусы серии 1Д имели одинаковый объем 50 см^3 , небольшой но разный диаметр основания, т.е. были остроконечны но с разными углами наклона поверхности (имитировали вершины гор). Конусы серии 2Д имели одинаковый объем 5 см^3 , большой, но разный диаметр основания при небольших углах наклона поверхности (имитировали пологие возвышенности, холмы). На рис. 6.8 (верхнем) обе серии сфотографированы в подводном положении в самом начале опыта, а на рис. 6.8 (нижнем) показаны сразу после опыта. На остроконечных конусах виден тонкий пленочный покров из одноклеточных водорослей (выглядит как темный загар). На плоских конусах водоросли тоже поселились, но слой был тоньше и на фотографии он незаметен.

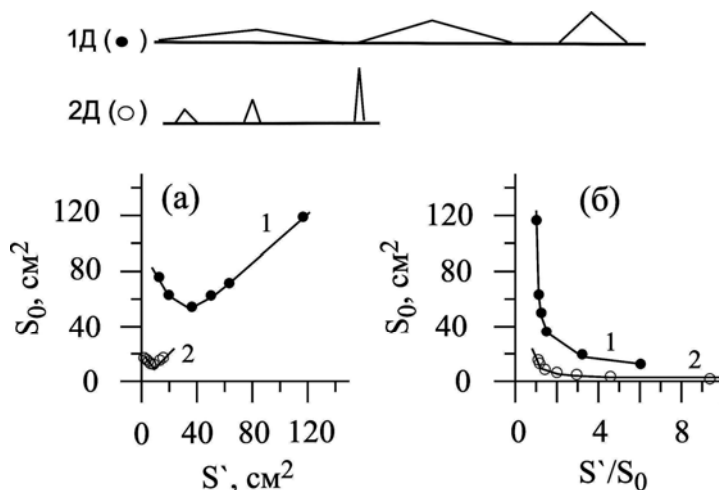


Рис. 6.9. Соотношение двух базовых параметров обитания – S'/S_0 и S_0 . Соотношение S'/S_0 отражает геометрический смысл понятий - “уплотненные”, “распластанные” конусы (серия 1Д, в верхней части рисунка) и “вытянутые”, “вздымающиеся” конусы (серия 2Д). Кривые на графике показывают, как в ряду конусов изменяется содержащаяся в них “геоморфологическая информация”, передаваемая затем в поселившиеся на конусах сообщества водорослей.

Вычислительная работа состояла в следующем. По разности начального и конечного веса пленок на конусах определена наросшая за время опыта (t) масса (W) фитоценоза. Заранее была вычислена площадь боковой поверхности каждого конуса (S') и площадь его основания (S_0), т.е. места на модельной “Земле”. Величину плотности водорослевого обрастания отображают два параметра – $W/S_{\text{бок}}$ (обрастание боковой поверхности конусов) и W/S_0 (условное обрастание “места на Земле”; понятно, что на самом деле эта площадь обрастать не могла). Для каждого конуса была

рассчитана скорость роста водорослевой пленки: $P = W/t$ и интенсивность роста: $\mu_w = W/tw$, где w среднее значение массы водорослей за время опыта. Для начинающего студента это была довольно серьезная биофизическая задача.

Соотношения между геометрическими параметрами поверхностей конусов показаны на рис. 6.9.

Другой студент, Юрий Юрченко, проводил эксперименты с аналогичной “популяцией” конусов. Он изучал их обтекание в морской воде. Конусы были покрыты медленно растворяющимся составом, высушены и взвешены с большой точностью; по размыванию покрытия в движущейся морской воде можно было судить об интенсивности обтекания конусов. Опыты проводились в море и в гидродинамической трубе без водорослей: изучалось только физико-химическое взаимодействие между конусами и обтекающей их водой. Результаты по биообрастанию конусов в работе Смолева сравнивались на графиках с результатами по обтеканию водой аналогичных конусов в работе Юрченко. Дело здесь в том, что скорость роста водорослей зависит не только от подводной освещенности, но и от скорости и интенсивности обтекания конусов.

3. Адаптивное обитание одноклеточных водорослей на физических моделях подводного рельефа

Известно, что глобальное моделирование – один из самых наукоемких и сложных типов системного анализа земных процессов, особенно протекающих при участии жизни. Глобальная экология развивается во всем мире, во многом на основе сложного математического моделирования с учетом всего комплекса структур и процессов – физических, химических, биологических и социальных (включая все главные формы технической и технологической активности). Такая работа студентам мало доступна. Напротив, эксперименты на лабораторных физических моделях для входящих в науку учащихся, особенно для биологов и экологов, представляют одну из лучших форм *исследовательского обучения* – доступную, но требующую биофизического мышления.

Обитание живых существ на Земле существенно зависит от ее рельефа. Жизнь на плоской равнине, на пологом склоне холма, на крутом склоне высокой горы, как и на аналогичном рельефе в водоемах, заставляет обитателей адаптироваться к разному набору внешних переменных и к самым разным численным значениям одних и тех же переменных.

Конус, пластина и стержень – наиболее типичные геометрические формы, подходящие для имитации рельефа Земли и тел живых существ на ней, особенно растений. От геометрии рельефа местности, прежде всего от размера выпуклых и вогнутых объектов, зависит средний индивидуальный размер их обитателей. Действительно, на частицах песка или ила обитают только бактерии, на мелкой гальке – бактерии и другие одноклеточные, на небольшом холме – многие виды, но нет крупных хищников и гигантских секвой, а в придорожной канаве самым крупным животным может оказаться головастики. В океане же обитают все – от бактерий до десятиметровых водорослей и многотонных китов. От наклона поверхности обитания (“угла атаки” светового, воздушного или водного потоков) зависит освещенность местообитания, приповерхностная скорость воздушных и водных струй, турбулентность, а соответственно скорость притока и оттока химических веществ, как питательных, так и токсичных.

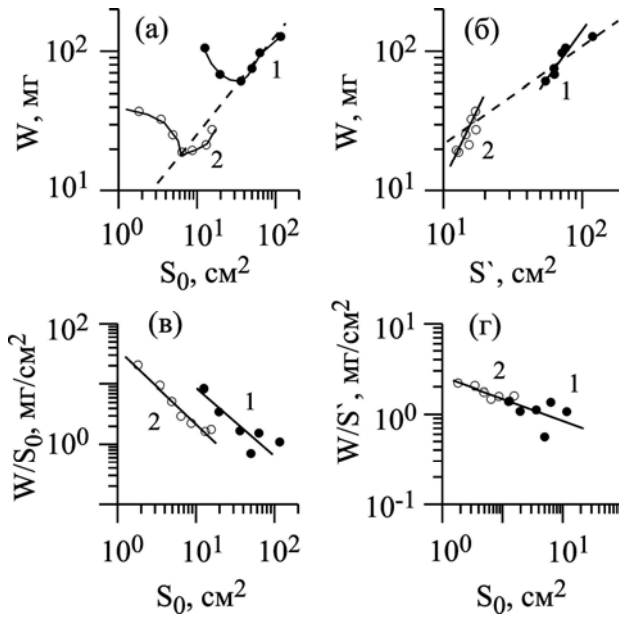


Рис. 6.10. *а, б* – Соотношение между биомассой водорослей на конусах W и геометрическими характеристиками конусов – S'/S_0 и S' ; *в, г* – Соотношение между параметрами обростания конусов (W/S_0 и W/S') и площадью поверхности их дна (S_0) при их одинаковом телесном объеме конусов. Обозначения: серия 1Д – черные кружки, серия 2Д – светлые кружки. См. текст.

Перейдем к наиболее ярким результатам исследований, продолжавшихся двумя студентами три год подряд. На рис. 6.10 показано соотношение между биомассой водорослей на конусе, W и геометрическими характеристиками конусов – S' и S'/S_0 . Здесь S' – площадь заселяемой водорослями поверхности каждого конуса, S_0 – площадь “дна, т.е. площадь поверхности, которую каждый конус занимает на модели Земли. Соотношение S'/S_0 как бы аккумулирует в себе сразу несколько геометрических характеристик, соответствующих понятиям “уплощенные”, “распластанные” конусы (серия 1Д на рис. 6.10) и “вытянутые”, “вздымающиеся” конусы (серия 2Д). Из рис. 6.10 *а* следует, что геометрия конусов каждой серии имеет свой характерный нелинейный вид – “паттерн”. При этом общая биомасса водорослей на поверхности конуса в серии 1Д примерно на порядок величин выше, чем у 2Д (действительно, на рис. 6.8 (внизу) пленка на пологих конусах незаметна глазу). Иначе выглядит соотношение между площадью боковой поверхности конуса, S' , и общей биомассой на нем (рис. 6.10 *б*). В обеих сериях соотношение $W(S')$ имеет линейный вид, следуя уравнению:

$$W = a (S')^b. \quad (1)$$

Обратимся к следующей важной характеристике обитания – “густоте”, “плотности” жизни (W/S_0 и W/S') на разных поверхностях (S_0 и S'). По соотношению W/S_0 и S_0 (рис. 6.10 *в*) тренды конусов обеих серий имеют линейный вид (при одинаковых значениях углового коэффициента b , но разном значении коэффициента a). По соотношению W/S' и S_0 (рис. 6.10 *г*) обе серии располагаются вдоль одной общей регрессии. Соответствующие уравнения:

$$W/S_0 = a (S_0)^{-b}; \quad (2)$$

$$W/S' = a (S_0)^{-b}. \quad (3)$$

Понятно, что в (1), (2) и (3) и в последующих численные значения коэффициентов a и b соответственно различны.

Взаимно линейное (рис. 6.10 *в, з*) расположение численных данных, при равенстве коэффициентов a и b , служит весьма существенным признаком: по параметрам обрастания (W/S' и W/S_0) и S_0 условия обитание водорослей на конусах серий 1Д и 2Д оказываются взаимно подобными. Если перенести этот вывод на модель рельефа Земли (что можно сделать лишь очень осторожным приближении), то окажется, что на всех конусах (т.е. конусообразных формах рельефа дна) водоросли оказались в конце опыта одинаково приспособленными (адаптированными), следуя уравнениям (2) и (3).

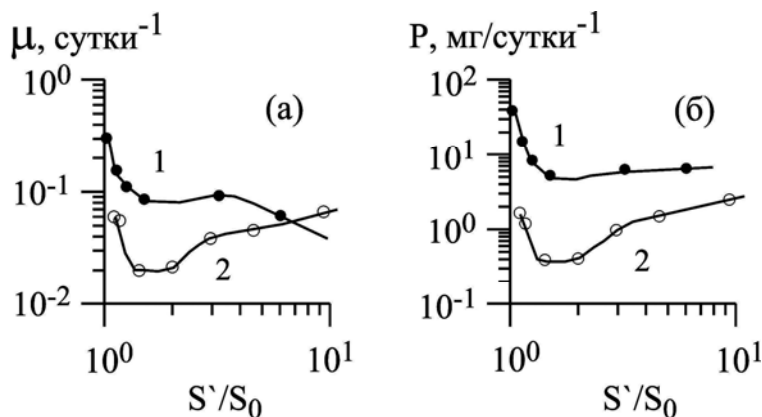


Рис. 6.11. Картина обрастания конусов водорослями. Соотношение между интенсивностью роста (μ_w) водорослей и геометрическим параметром, S'/S_0 конусов. Графика иллюстрирует передачу геоморфологической информации с рельефа морского дна на растущее сообщество водорослей. Обозначения: серия 1Д – черные кружки, серия 2Д – светлые кружки.

Закономерные соотношения между параметрами роста водорослей на конусах и геометрией конусов подтверждаются расчетными значениями интенсивности, μ_w (рис. 6.11 *а*) и скорости, $P = \mu_w \cdot W$ (рис. 6.11 *б*) роста водорослевых пленок на конусах серий 1Д и 2Д. На рис. 6.11 *б* показано аналогичное соотношение для P и S'/S_0 .

Главное условие роста – поступление из внешней среды, у водорослей из воды, питательных веществ. Известно, что при повышении скорости обтекания клеток, или многоклеточных растений водой приток питательных веществ внутрь тела усиливается, а при чрезмерной скорости они ослабляется. Иными словами, это соотношение описывается одновершинной кривой с некоторым оптимумом поступления веществ. Поэтому в опытах с биообрастанием конусов важно было выяснить, коррелирует ли скорость роста водорослевой пленки с интенсивностью отекания поверхности конусов морской водой.

Косвенно такое сравнение можно сделать по рис. 6.12. На нем показано как интенсивность и скорость обтекания конусов, связаны и их геометрией. Как следует из сравнения рис. 6.11 и 6.12, два интегральных показателя жизни – скорость и интенсивность роста, а вместе с ними также и интенсивность обтекания обрастающих тел, с характерным нелинейным паттерном коррелируют с геометрическими параметрами обитания. Как отражено в уравнениях (4) и (5) параметр S'/S_0 , а также величина удельной поверхности тела, S/V , являются наиболее важными регуляторами

обитания и жизни организмов, не только растений, а и животных. Важная регуляторная роль этих параметров была показана и в предыдущей лекции.

В начале лекции сообщалось, что на подводном стенде были размещены как выпуклые конусы (имитация разного рода и размера поднятий рельефа), так и вогнутые (имитация водоемов разного размера и глубины). У нас нет возможности рассматривать здесь результаты этой, еще более обширной работы (она проводилась с обрастанием также и многоклеточными водорослями). Скажем только, что в нескольких сериях вогнутых конусов также наблюдалась четкая связь между параметрами обитания (W/S_0 и W/S') и геометрическими характеристиками конусов (S_0 , S' , S'/V и S'/S_0), но с несколько иным, более разнообразным видом зависимостей между тем и другими.

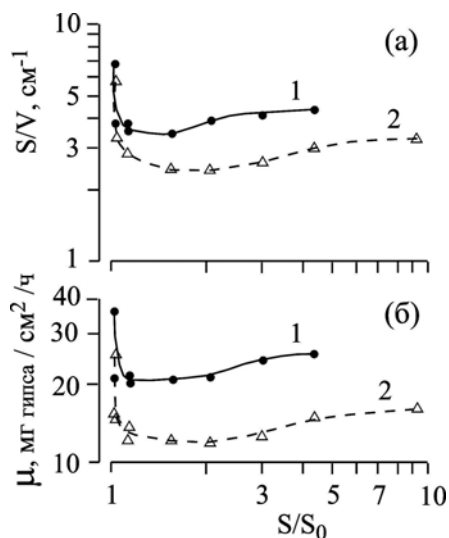


Рис. 6.12. Картина обтекания морской водой конусов с разной геометрией. Соотношение физических параметров моделей и их связь с интенсивностью растворения гипсового слоя (по Хайлов, Юрченко, 1992):

а – связь удельной поверхности (S/V) с коэффициентом S/S_0 , отражающим форму моделей в серии гладких моделей разного объема и формы;

б – связь интенсивности растворения гипсового слоя в расчете на единицу объема модели (μ) с коэффициентом S/S_0 . 1 – 2 мл; 2 – 5 мл. Экспозиция в море.

Понятно, что обсуждавшая выше студенческая работа по “глобальному моделированию” не отражает действительного богатства реального земного рельефа. Не отражает она и множества других, сопутствующих геоморфологии внешних переменных – физических, химических и биологических. Задача работы заключалась лишь в том, чтобы показать *разнообразие закономерных связей между Био и Гео через геоморфологические структуры, возможность и необходимость использования таких знаний в аквакультуре.*

О студенческих работах было так подробно рассказано еще и потому, что эти эксперименты (и их последующее развитие теми же двумя лицами) хорошо иллюстрируют смысл и значение продуманной и отвечающей задаче научной методологии. Чтобы привлечь к научным поискам студентов, замученных опостылевшим школярством, можно и нужно применять намеренно “сильные” учебные приемы – показывать и предлагать учащимся вызывающие и даже дерзкие научные задачи. Преследуя важную образовательную цель, можно позволять себе и студентам значительные упрощения в постановке и решении предлагаемых им задач, обязательно объясняя, что при строго научном подходе такие упрощения не допускаются.

Лекция 6.3. Лучевая диагностика биокосных объектов.

Принципы, методы, практика

1. Горизонт возможностей
2. Медицинская лучевая диагностика
3. Магнитно-резонансная томография
4. Общебиологическая компьютерная диагностика
5. Исследовательские возможности и проблемы образования

1. Горизонт возможностей

Природа вещественного мира двулика. С одной стороны, это тела, характеризующиеся массой, занимаемым объемом пространства с его граничными поверхностями. С другой стороны, это волновые проявления, характеризующиеся длинами волн, амплитудами, частотами. На этих двойках свойствах основаны многие общенаучные методы изучения и диагностики состояния природных объектов самого разного типа.

В изучении косной (неорганической) составляющей Природы широко применяются методы “просвечивания”, “локации”, “разведки” объектов, находящихся в главных средах – воздухе, воде и в твердом веществе Земли. В земном макромасштабе волновые методы используются при изучении структуры земной коры, при поиске и оценке запасов полезных ископаемых в толще земли, при контроле содержимого чемоданов в аэропортах. С помощью разных локаторов в мирных и в военных целях ведется поиск важных для людей природных и рукотворных тел в атмосфере и гидросфере. При изучении живой составляющей Природы методы лучевой разведки и диагностики используются также весьма широко. Они основаны на ряде физических принципов и в разных инструментальных реализациях. Ниже речь пойдет об одной группе современных лучевых диагностических технологий очень широкого применения. Поясним.

Разнообразие физических состояний вещества на Земле (газообразное, жидкое и твердое с переходами из одного в другое) делает возможным существование объектов, сочетающих в себе разные комбинации состояний, различающихся по физической плотности. Общая для биосферы комбинация – это Гео-Био. Если в природе имеются ряды биокосных объектов, подобных по некоторым основаниям, то принципиально возможны универсальные методы оценки их “лучевой плотности”. Для Био наиболее характерна масса биоорганических веществ, а для Гео – вода и воздух. А поэтому, выявление и оценка плотности упаковки косных и биоорганических веществ в водной и воздушной фазах – вот самый общий путь “мониторинга”, “разведки”, “диагностики” (названия могут быть какими угодно) объектов любого размера и типа. Бактерий? – пожалуйста. Коконов шелкопряда? – можно. Не спрятан ли в чемодане дорогой попугай из Индии? – можно и это. Болен человек? – пусть подходит. Нет ли в теле ветерана пули? – примем без очереди. И так без конца. И все это быстро: локатор в паре с компьютером и профессионалом дела; вот и вся канитель. Только приборы нужны не дешевые и люди знающие.

Принципиально важно еще и то, что современные лучевые методы позволяют сделать через объект множество последовательных “срезов”, дающих картину физической плотности объекта в плоскости каждого среза. Срезы можно делать с разным шагом в зависимости от размера объекта и целей исследования. По совокуп-

ности срезов выстраивается трехмерная модель объекта. Ее можно любым образом поворачивать и интерпретировать в соответствующих терминах – аэропортовых, геологических, медицинских.

2. Медицинская лучевая диагностика

В медицине для изучения структуры объекта со времён Рентгена используют рентгеновские лучи, с помощью которых можно «просветить» человеческое тело. В результате получаются изображения костей, а в современных приборах, особенно при использовании контрастного вещества, возможно получение изображений также и внутренних органов. При “просвечивании” рентгеновским лучом плотные ткани, прежде всего кости, поглощают рентгеновские лучи в большей мере, благодаря содержащемуся в них кальцию, а мягкие ткани, например мышцы, поглощают излучение меньше, а воздух – ещё меньше. Кроме давно известных рентгеновских аппаратов, которые дают лишь двумерную проекцию исследуемого объекта, существуют рентгеновские компьютерные томографы (КТ), позволяющие получать послойное изображение внутренних структур с толщиной среза, соответствующего размеру объекта (в диапазоне примерно от 0.5 мм до 7.0 мм).

Метод КТ был предложен американскими учеными Годфри Хаунсфилдом и Алланом Кормаком в 1972 г., удостоенными за эту разработку Нобелевской премии. Эта идея, по сути, явилась продолжением работ Н.И. Пирогова который, выполнил работу и впоследствии издал анатомический атлас послойно разрезанных в различных анатомических плоскостях замороженных трупов. Пироговым был издан атлас «Топографическая анатомия, иллюстрированная разрезами, проведенными через замороженное тело человека в трёх направлениях». Фактически, изображения в атласе предвосхищали появление компьютерной томографии.

Контрастность тканей при КТ и рентгеновском методе связана с единственным параметром – её рентгеновской плотностью. Чем ярче выглядит ткань на КТ, тем она плотнее.

Помимо медицины, метод используется для выявления дефектов в изделиях (рельсах, сварочных швах и т. д.) с помощью рентгеновского излучения – рентгеновская дефектоскопия. В материаловедении, кристаллографии, химии и биохимии рентгеновские лучи используются для выяснения структуры веществ на атомном уровне при помощи дифракционного рассеяния рентгеновского излучения – рентгеноструктурный анализ. Известным примером является определение структуры ДНК.

В электронно-лучевом микронзонде (либо же в электронном микроскопе) анализируемое вещество облучается пучком электронов. При этом атомы ионизируются и излучают характеристическое рентгеновское излучение. Если вместо электронов используется рентгеновское излучение, молекулы облучаемого вещества начинают флюоресцировать и давать световые волны. Этот аналитический метод называется рентгено-флюоресцентным анализом.

Наибольшее практическое значение компьютерная томография получила в медицине. При компьютерной томографии пациента располагают между источником рентгеновского излучения и несколькими воспринимающими датчиками. Различное ослабление интенсивности компьютер переводит в цифровые значения. Костная ткань, так же как при рентгенографии, имея высокую плотность, на снимках отображается белым цветом, плотность воздуха минимальная, поэтому он на снимках выглядит черным. Головной мозг, внутренние органы и различные жидкости отображаются на снимках различными оттенками белого и черного цветов.

Совсем недавно в медицине появилась инновационная технология, объединяющая два современных метода обследования – компьютерную томографию (КТ) и позитронно-эмиссионную томографию (ПЭТ). Оба модуля медицинской диагностики отлично дополняют друг друга, и дают возможность до мельчайших деталей изучить органы и ткани человека, за одно обследование. При помощи позитронно-эмиссионной томографии возможно отображение процессов обмена веществ в клетках организма: высокоактивные раковые клетки более интенсивно накапливают молекулы фруктозы низкой степени радиоактивности, и их излучение появляются на экране ПЭТ как светящиеся точки. Таким образом, можно отчетливо распознать даже миллиметровые опухолевые структуры. Однако, истинная локализация опухолевых образований с ПЭТ часто трудна. Здесь доминирует компьютерная томография и её специализация – точное изображение тканевых структур – слоистых, ветвящихся, сложно-гетерогенных.

В 1946 г. ученые из США Феликс Блох и Ричард Пурселл независимо друг от друга открыли явление ядерного магнитного резонанса (ЯМР) для жидкостей и твердых тел. В 1952 г. они оба были удостоены Нобелевской премии по физике, а ЯМР начал использоваться в физической и органической химии, физике твердых тел, биофизике и биохимии. В 1972 г. проф. Пол Лаутербур получил первое в мире двухмерное ЯМР-изображение двух стеклянных капилляров, заполненных жидкостью. Правда, на получение этого изображения ушло 4 ч 45 мин. Всего 8 лет потребовалось для появления в клинике первых МР-томографов для исследования всего тела (1980-1981 гг.). После включения ЯМР в число методов медицинской томографии прилагательное "ядерный" было опущено из соображений маркетинга и по настоянию специалистов по радиологии из-за того, что оно в массовом сознании связано с ядерным оружием или ядерными электростанциями, с которыми ЯМР не имеет ничего общего.

3. Магнитно-резонансная томография

Магнитно-резонансная томография (МРТ) современный и чрезвычайно востребованный сейчас метод диагностики. МР томограммы строятся на основе переизлучения радиоволн ядрами водорода (протонами) содержащихся в тканях тела.

Сущность метода состоит в следующем: ядра атомов, обладающие собственным магнитным моментом (спином), помещенные в постоянное магнитное поле, избирательно взаимодействуют с магнитной компонентой электромагнитной волны, частота которой определена для каждого вида ядра. Когда ядро (с нечетным количеством протонов и нейтронов) помещается в мощное магнитное поле, оно начинает вращаться под действием этого поля с определенной частотой. Если на это ядро дополнительно воздействует радиоволна, той же частоты, ядро начинает поглощать радиочастотную энергию и переходит в состояние возбуждения. После отключения радиочастотного импульса ядро возвращается из состояния возбуждения в обычное состояние (этот процесс называется релаксацией) с испусканием радиоволн. Испускание радиоволн во время релаксации ядра является источником возникновения мр-сигнала. Способность всей системы поглощать энергию в соответствие с исходной частотой обозначается, как "резонанс".

Испускаемый радиочастотный сигнал может быть зарегистрирован. Частота сигнала указывает на тип ядра (элемент), а амплитуда (интенсивность) сигнала – на концентрацию ядер. Третий параметр сигнала скорость его затухания (релаксации), зависящая от движения окружающих атомов. Сигнал из объекта дает информацию о характере его окружения и химических связей. Обычно скорость затухания сигнала

характеризуется временем уменьшения его интенсивности в 2.72 раза – так называемым временем релаксации (продольным T1, характеризующим затухание компоненты сигнала, направленного параллельно постоянному магнитному полю, и поперечным T2, относящимся к компоненту, направленному перпендикулярно полю).

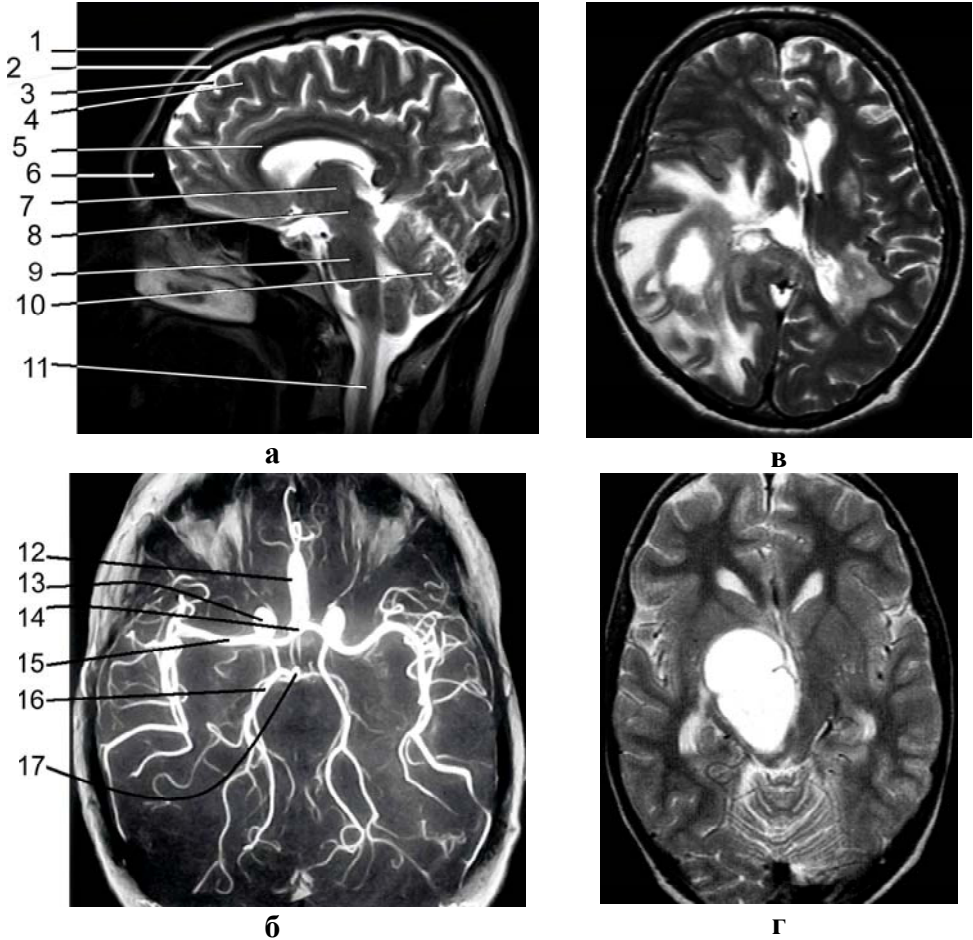


Рис. 6.13. Примеры Мр томограмм:
а – МРТ головного мозга человека. Сагиттальная плоскость. T2- взвешенное изображение. Норма;
б – Мр ангиография. Изображение артерий головного мозга. Норма;
в – МРТ головного мозга человека. Аксиальная плоскость. T2- взвешенное изображение. Метастаз головного мозга справа, окружен выраженным перифокальным отёком;
г – МРТ головного мозга человека. Аксиальная плоскость. T2- взвешенное изображение. Опухоль головного мозга справа, срединные структуры смещены.
1 – кожа; 2 – лобная кость; 3 – ликвор; 4 – белое вещество; 5 – мозолистое тело; 6 – лобная пазуха; 7 – таламус; 8 – ножки мозга; 9 – мост; 10 – мозжечок; 11 – спинной мозг; 12 – передняя мозговая артерия; 13 – внутренняя сонная артерия; 14 – передняя соединительная артерия; 15 – средняя мозговая артерия; 16 – задняя мозговая артерия 17 – основная артерия;

Форма радиочастотного импульса, возникающего при ядерном магнитном резонансе, зависит от количества присутствующих ядер (плотность спинов) и времени, которое требуется для релаксации (T1 или T2). Параметр T1 (спин-решеточная

релаксация) измеряет продольное возвращение ядра по отношению к статическому магнитному полю, то есть параллельно его силовым линиям и отображает химическое окружение протона. T2 (спин-спин релаксация) измеряет поперечную релаксацию ядра и отражает соотношение индивидуального ядра с окружающими ядрами.

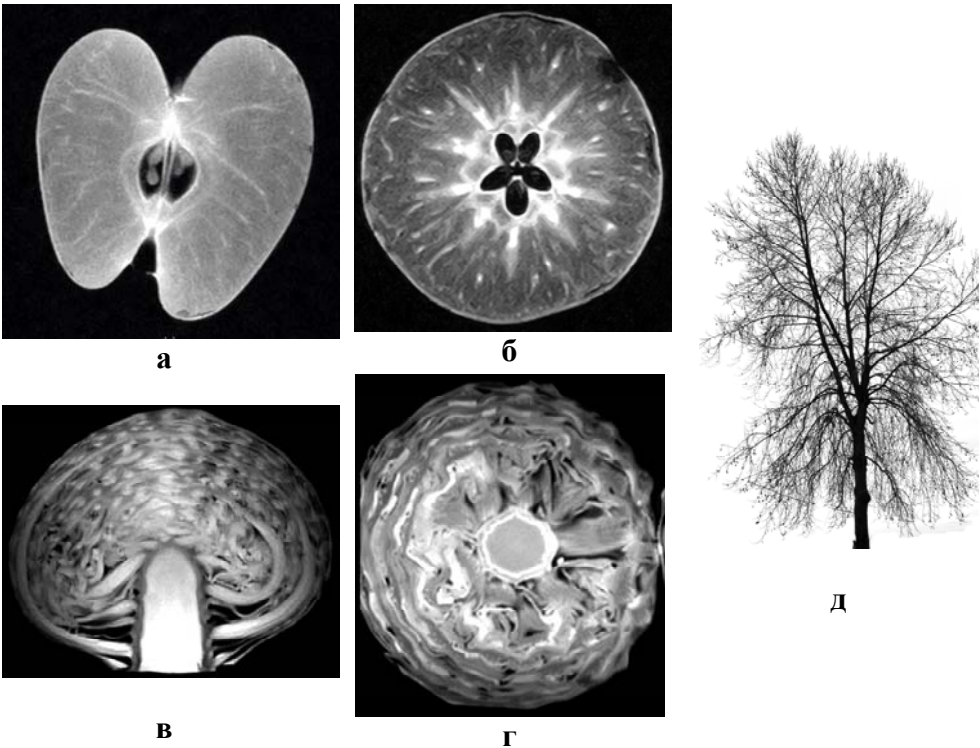


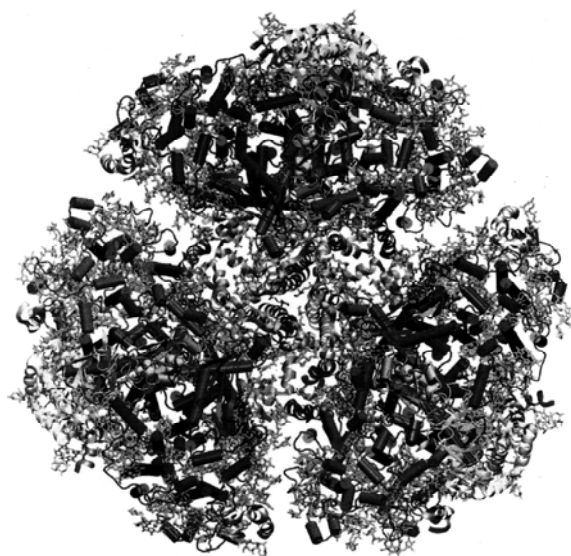
Рис. 6.14. МР-томограммы яблока (а, б) и кочана капусты (в, г) в двух проекциях и (д) фотография дерева, т.е. не что иное, как **лучевая диагностика кроны в уличном воздухе**.

Обратим внимание, что кочан капусты – это, по сути, компактно упакованная крона «дерева» (рис. 6.14 **г**), разве что у кроны настоящего дерева (рис. 6.14 **д**) – пространство, заполненное воздухом в границах кроны, располагается снаружи тела растения и не образует замкнутых пространств, тогда как в «кроне» кочана капусты воздушное надтелесное пространства замкнуто в границах кроны.

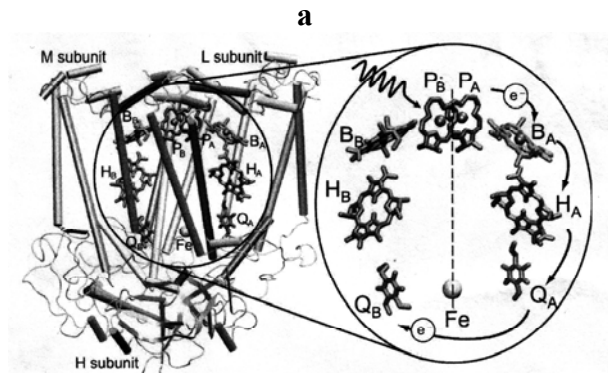
Помимо основного РЧ-импульса в МР-томографии используются дополнительные магнитные поля, накладываемые на основное поле. Эти поля называются градиентными, и цель их использования - выделение интересующего слоя во всем объекте исследования. В дальнейшем, после математической обработки МР-сигнала, он преобразуется в видимое изображение, называемое МР- томограммами. Контрастность изображения на томограммах обусловлена различием во времени T1-релаксации, называются T1-взвешенными томограммами или изображениями (T1-ВИ), и соответственно, изображения, основанные на T2-релаксационных характеристиках, называются T2-взвешенными изображениями (T2-ВИ). Мы в лекции будем рассматривать только T2-ВИ, так как целью лекции не является разъяснение диагностических тонкостей в медицине. Кроме того, T2-ВИ в значительной степени отражает содержание жидкости в тканях. При малом количестве жидкости изображение

Томографические отображения реальных живых объектов, человека и его некоторых органов и разных растительных объектов показаны на рис. 6.13 и 6.14.

При лучевом зондировании любых организмов волновые сигналы посылаемые из внешнего устройства, проходят через объект. Упрощая группу описанных выше физических явлений, возникающих при прохождении сигнала через ткани, можно сказать, что в приборах одного типа луч поглощается пропорционально ее физической плотности, а прошедший сигнал регистрируется приемным устройством прибора (как в КТ). В другом случае, входной сигнал возбуждает в объекте колебательный процесс (или изменяет его волновые характеристики) и приемное устройство прибора принимает волновой сигнал, возбужденный в самом изучаемом объекте (как в МРТ).



а – Трехмерная структура Фотосистемы-1. Вид со стромальной стороны на мембранну. Каждый мономер состоит из 12 протеиновых субъединиц, показанных в виде узких лент. PsaA и PsaB образуют центр каждого мономера. Взято из: Biophysical Techniques., 1992., Fig.1 (page CP4).



б – структура PRC из Rb. sphaeroides. Для упрощения показаны только субструктуры М, L и Н. Взято из: Biophysikal Techniques..., 1992. Fig 2 (page CP7).

На рис. 6.14 *а, б* показаны томограммы яблока в двух проекциях. Снимок в данном случае соответствует слою тканей между двумя лучевыми срезами, сделанными с шагом 4 мм. Черное поле вокруг яблока – воздух, который резонансный сигнал не посылает. Черная область в середине яблока – газовая (воздушная) полость, в которой видны семечки серого цвета. Под кожурой видны краевые повреждения мягкой ткани яблока, в виде темных участков с нечеткими и неровными контурами. Визуально на коже они не определяются.

На рис. 6.14 *в, г* показаны томограммы кочана капусты в двух проекциях. Исходя из изложенного выше, читатели сами дадут их интерпретацию в терминах плотности вещества, Био на фоне Гео.

Понятно, что на рис. 14 *д* показана не томограмма дерева. Но что такое фотоаппарат, как не приемный лучевой прибор для локации плотных объектов в природных средах? Дерево облучается Солнцем, а косные и биокосные объекты видны так же контрастно, как сосуды с кровью и на томограммах человеческой головы (рис. 13 *б*).

Искаженный после аварии автомобиль с вывороченным железным нутром, выглядит на живой природе, как раковая опухоль на мозге. Разве не так?

Между прочим, это как раз и есть *биогеоэкология в начале XXI века*, увы.

5. Исследовательские возможности

Как отмечалось выше, диапазон практического применения лучевых методов начинаясь с геологии, распространяется на целый ряд форм практической деятельности, не только физико-технической, но также лечебной и общемедицинской, включая ее научно-исследовательские интересы. С научной точки зрения, лучевая медицинская диагностика представляет собой раздел биофизики*. Исследовательские интересы биологии и медицины давно уже слились с интересами молекулярной биофизики, в том числе биофизики фотосинтеза. По сути дела, формируется своего рода “размытое проблемное множество” в области пересечения интересов ряда теоретико-прикладных наук – биологии, медицины, классической экологии и биогеоэкологии, биохимии и геохимии, биофизики и геофизики, а соответственно и инженерно-технической проблематики. Поскольку “размытые проблемные множества” становятся характерной чертой XXI века, это ставит непростые вопросы перед учебно-образовательной сферой Украины и России: как на этот вызов ответить? Отвечать лучше сообща.

На рис 6.15 показана компьютерная реконструкция важной части связанных с фотосинтезом молекулярных структур живых клеток (так называемая “Фотосистема-1”). Не станем вникать в подробности. Достаточно осознать два факта. Во-первых, видим зримое сходство упорядоченных живых структур, принадлежащих к самым разным уровням организации биосферы (геометрия Природы одна на всех). Во-вторых, фактом является свойственная науке начала XXI века способность с любой необходимой точностью измерять и объективно сравнивать структуры и их функции. Понятно, что снимок, сделанный с “больной” Фотосистемы-1, отразил бы структурные отклонения от свойственной ей “нормы”.

* Медико-биологические исследования традиционно включают биофизику кровообращения и структурно-функциональную организацию потоков и ветвящихся поточных систем. Сюда же относятся вопросы фрактальной геометрии и теории подобия (Лайтфут, 1977; Niklas, 1994; West et al., 1999).

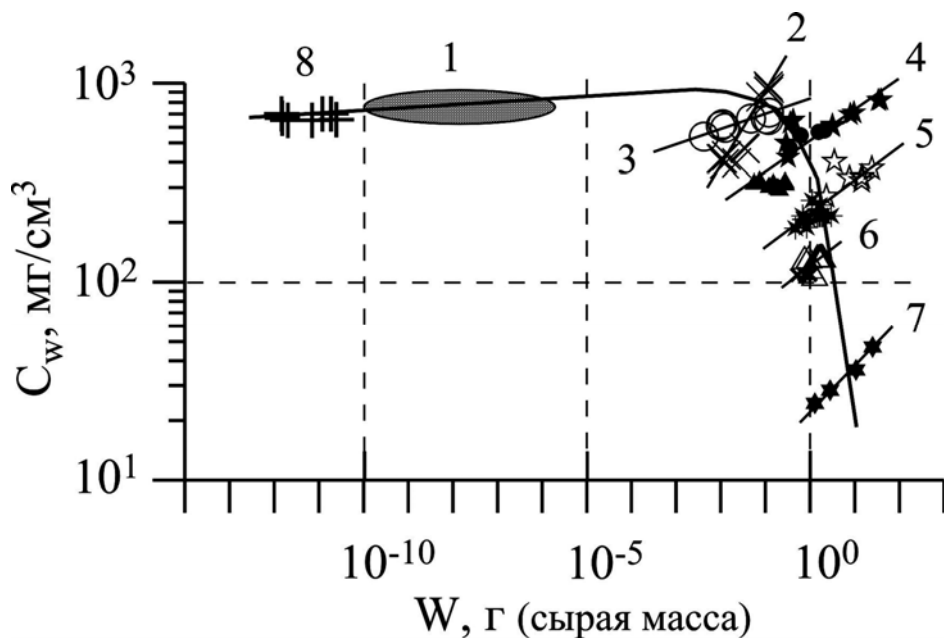


Рис. 6.16. Соотношение между сухой массой (W) органического вещества в составе разных природных объектов и его объемной концентрацией (C_w) в них.

Обозначения: 1 – эллипс, область характерных размеров отдельных клеток разных видов морского фитопланктона; 2 – осенние, созревшие ягоды шиповника дикого (X); 3 – высечки из кости крупных животных (O); 4 – древесина айланта (★), древесина ореха грецкого (●), стебли дикого винограда (▲); 5 – хрящевые ткани крупных животных (☆) и мелкие клубни картофеля (✱); 6 – незрелые помидоры (X) и незрелые яблоки (Δ); 7 – молодые (апрель) кочаны капусты; 8 – компьютерная реконструкция иерархически организованного молекулярного комплекса (“Фотосистема-1”) в клетках фотосинтезирующих бактерий *Rb. sphaeroides* и отдельные субструктуры из этого комплекса (пояснения см на см. рис. 6.15 а, б).

Покажем также пример применения лучевых и других методов для оценки концентрации суммы биоорганических веществ (так наз. “сухого органического вещества”, ОВ) в биокосных объектах самого разного типа (рис. 6.16). Ряд объектов начинается с нано-структур растений с характерной массой $10^{-10} - 10^{-12}$ г) и завершается молодыми кочанами капусты (с характерной сухой массой 3 – 30 г). Между ними на графике показано положение в общей метрике плодов и корнеплодов разных сельскохозяйственных растений. Весь ряд (13 порядков величин по ОВ объектов) в совокупности описывается нисходящей линией, повторяющей соотношение C_w (V) на рис. 1.3. Отметим, что в кластерах 2 – 7 наблюдаются собственные тренды, отражающие вызревание соответствующих органов растений и повышение в них концентрации ОВ. Трендовые линии могут служить основанием для расчета объемной концентрации ОВ как функции возраста растений, или их плодов. Это открывает возможность автоматизации диагностики такого рода в самом широком диапазоне биомедицинской и биоэкологической практики.

Молекулярная экология

Введение в тему

Образцом экологической классики XX века был известный всему миру учебник Юджина Одума “Общая экология”. Он начинается с концепции экосистемы с полночленным сообществом. Пищевая сеть сообщества начинается с веществ, растворенных в воде и содержащихся в воздухе. Молекулярная пища извлекается из воды и воздуха самыми мелкими существами – бактериями и водорослями. Телесная масса водорослей передается затем по цепи хищников и жертв. Пищевая цепь сообщества своеобразно “канализовна” – вещество передается от жертв к хищникам в телесной форме. Трофическая сеть в теле высших растений также начинается с молекул – в почвенной воде. Если рассматривать любую пищевую динамику полночленно, т.е. как полный цикл со входами и выходами (открытая, растущая система), то оказывается, что молекулярные процессы в организмах и в сообществах представлены примерно в равной доле с динамикой телесных масс. В полночленном природном объекте, ни та, ни другая форма динамики не довлеет. Они взаимно дополнительные.

Ранние модели экосистем учитывали не весь набор трофически ценных молекул, а лишь минеральные соединения углерода, фосфора, азота, и других биогенных элементов (без органических метаболитов и природных органических веществ в растворах). Во второй половине XX века трофическая концепция экосистемы приближается к полночленному виду. Современная экология состав и динамику растворенных минеральных и органических пищевых веществ и метаболитов рассматривает и интерпретирует одинаково подробно.

В *Школе биогеоэкологии* о пищевых цепях и трофических уровнях типа хищник-жертва не было ни одной лекции. Дело в том, что трофодинамика, построенная на отношениях хищников и жертв, настолько хорошо и полно описана классиками экологии, что ее надо изучать по учебникам-оригиналам. При обилии давно читаемых курсов лекций нет смысла повторять здесь этот обширный материал без надежды написать лучше классиков. Это тем более так, что имеется ряд исторических обзоров экологии, особенно за XX век. Один из наиболее аналитичных и полных историко-научных обзоров экологии, системной в том числе, можно найти в книге В. Д. Федорова и Т. Г. Гильманова (1980, с. 9 – 33).

К концу XX века понятия “химическая экология”, “молекулярная экология”, “экологическая биохимия”, “экологический метаболизм” и другие прочно вошли в научную литературу. Они столь же естественны, как и понятия “молекулярная биология”, “биологический метаболизм” и “биохимия моря”.

В начале XXI века приходится учитывать также мощный рост глобального “технологического метаболизма” с колоссальными и через все среды обитания, потоками молекулярных промышленных, сельскохозяйственных, бытовых, медицинских и прочих отходов. Роль молекулярной экологии в системе общего и профессионального образования становится одной из важнейших, в том числе в прикладных сферах. Молекулярная экология, изучающая, свойственный биосфере безотходный обмен веществ, дает основу для разработки принципов безотходности, или малоотходности технологического метаболизма.

Лекция 7.1. Учебные образы кольцевых биосферных потоков*

1. Поточная конструкция телевизора и биосферы
2. Кольцевые потоки на молекулярно-клеточном уровне
3. Кольцевые потоки на уровне многоклеточного организма
4. Кольцевые потоки в экосистемах. Замкнутость круговорота
5. Замкнутость круговорота углерода в биосфере

1. Поточная конструкция телевизора и биосферы

Биосфера – это самая крупная и сложно устроенная биокосная система на Земле. Она существует уже миллиарды лет, будучи «построена» из множества элементов, подсистем разного уровня организации, (биоорганических молекул, клеток, организмов, популяций, ..., экосистем). Каждый вышеупомянутый элемент имеет значительно меньшую продолжительность жизни и уровень надежности, чем биосфера. У каждого из них в процессе «жизни» накапливаются ошибки, которые ведут к их распаду, что, однако, не ведет гибели биосферы и ее базовых блоков разного уровня.

Почему такое возможно? Объясняется это особенностью конструкции биосферы**. Она построена на «проточных» элементах, которые встроены в кольцевые потоки разного размера и сложности, а те, в свою очередь, организуются в общий биосферный кольцевой поток веществ. Биосфера представляет собой иерархическую систему колоссального множества кольцевых поточных подсистем с разной степенью замкнутости.

Чтобы разобраться, как работает принцип иерархии и поточной замены блоков, продемонстрируем его на примере домашнего телевизора (рис. 7.1). Телевизор состоит из множества деталей, каждая из которых выполняет определенную функцию. Он работает в том случае, если все они исправны. В случае отказа какой-либо детали, она в процессе ремонта изымается и выбрасывается, а на её место ставится новая с аналогичными характеристиками, и телевизор продолжает исправно работать. В этом случае детали проходят путь: производитель деталей – магазин – телевизор – мусорное ведро (*направленный* поток деталей, рис. 7.1 *а*). Однако такая конструкция порождает проблему *ресурса*. Как только иссякнет запас деталей, прекратится их направленный поток. Прекратится и «жизнь» телевизора, останется только большая груда неисправных деталей и не работающий телевизор (рис. 7.1 *б*). В этой ситуации выход один: детали, вышедшие из строя, разобрать до исходных материалов,

* В таком виде эта лекция читается студентам Севастопольского отделения Одесского государственного педагогического университета им. К.Д. Ушинского по дисциплинам: «Основы экологии» и «Природоведение».

** Подробно смотри в работах: Горшков, 1990, 1995; Каменир, 1983, 1986, 1991; Экологическая биофизика, 2002.

а из них собрать новые и вернуть их в телевизор, т.е. организовать *циклический* поток деталей и их исходных материалов (рис. 7.1 в).

Можно предположить, что если скорость «сборки» новых деталей будет равняться скорости «разборки» вышедших из строя, то в этом случае «жизнь» телевизора может продолжаться достаточно долго. Это важное, но недостаточное условие. Реально «сборка» и «разборка» не могут идти без потерь – следовательно, потери должны компенсироваться извне. Например, в рамках отдельной мастерской нельзя осуществить полную «разборку» и «сборку» всех видов деталей: недостающие детали, поступают из фабрик производителя. Чем лучше мастерская справляется со своими обязанностями, т.е. чем меньше потерь, тем меньше необходимо поступлений извне, а это значит, мастерская (как и наша биосфера) меньше зависит от внешних источников. Как сказали бы профессионалы, система имеет относительно замкнутый обмен веществ и чем сложнее устроен уровень биологической организации, тем он более замкнут.

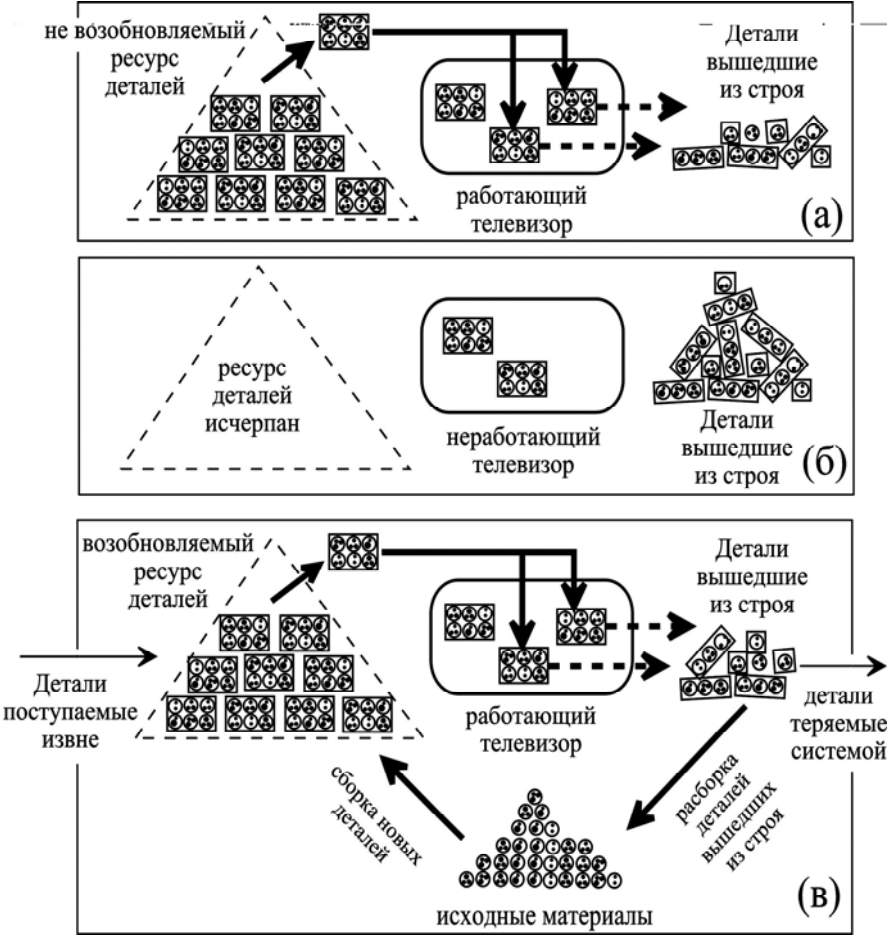


Рис. 7.1. Схема поточной системы на примере домашнего телевизора. В каком случае он выйдет из строя и в каком будет работать бесконечно долго? Пояснения в тексте.

Как следует из схемы (рис. 7.1), а жизнь ее подтверждает, открытые системы существуют («живут») только в потоке веществ. Чтобы поток существовал постоянно (бесконечно долго), необходим неограниченный ресурс вещества, что даже в масштабах Земли невозможно. Рано или поздно любой ресурс в условиях ограниченного пространства исчерпается. За счет постоянно идущих процессов «сборки» и «разборки» (синтеза и разложения) осуществляется циклический поток веществ, и, тем самым, решается проблема ограниченности ресурса. Неизбежные в таких случаях потери веществ компенсируются поступлением их из соседних систем или систем других уровней организации.

Как на разных примерах было показано в предыдущих лекциях, биосфера состоит из громадного множества ограниченных, структурированных пространств разного размера, в каждом из которых имеется столь же ограниченное количество ресурсов (фондов веществ), которое постоянно поддерживается за счет разномасштабных круговоротов веществ, объединяющихся в общий биосферный круговорот.

Отдельная клетка, свободно живущая или находящаяся в составе организма, отдельный многоклеточный организм, крона дерева, отдельно лес и водоем со всеми их обитателями – это примеры структурированных пространств разного размера, заполненные биоорганическими и минеральными веществами, и, одновременно, это биокосные системы разного уровня организации и происхождения. Все это поточные подсистемы биосферы.

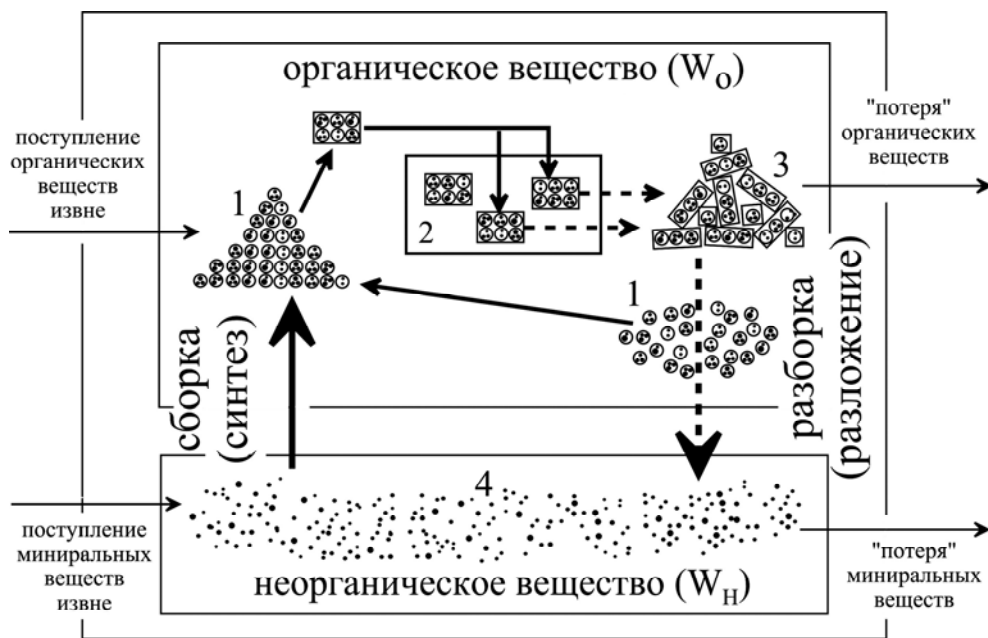


Рис. 7.2. Упрощенная поточная схема биокосной системы. 1 – органические молекулы; 2 – сложно структурированные тела; 3 – сложные органо-минеральные продукты жизни; 4 – неорганические вещества.

На рис. 7.2 представлена модель биокосной системы, основными компонентами которой, являются биоорганические (Био) и неорганические (Гео) вещества, между которыми происходит постоянный обмен. Постоянное взаимопревращение, неорганических веществ в органические («сборка»), и органических в неорганические вещества («разборка»). На схеме *биоорганическое вещество* представлено: 1) в

виде множества органических молекул с разной сложностью их организации; 2) в виде сложно структурированных тел, которыми могут быть: мембраны органелл, органеллы клеток, клетки многоклеточных организмов, отдельные организмы и в целом вся совокупность всех живых организмов планеты, включая и человека – «живое вещество»; 3) В третью группу вошли сложные органо-минеральные продукты жизни (детрит, гумус, торф).

Неорганические вещества – это все неорганические вещества биосферы, вовлекаемые в биотический круговорот. И в первую очередь это кислород, вода, соединения углерода, азота, фосфора и других элементов.

Любая биокосная система и круговорот веществ в ней могут быть описаны параметрически. На рис. 7.3 представлены модели двух биокосных систем обменивающихся между собой веществом. Каждый объект характеризуется общим запасом органического (W_O , т) и неорганического (W_H , т) вещества в ней. Скоростями синтеза («сборки») ($J_o = dW_O/dT$, т/год) и разложения («разборки») ($J_H = dW_H/dT$) органического вещества в границах системы. В последнем случае – J_H характеризует и скорость образования неорганических веществ из органических. Каждая из систем также характеризуется скоростями поступления (J_X) и выведения (J_Y) веществ в неё и за ее пределы. Если мы разделим величину всего запаса органического вещества в системе на скорость его образования или на скорость его разложения то получим

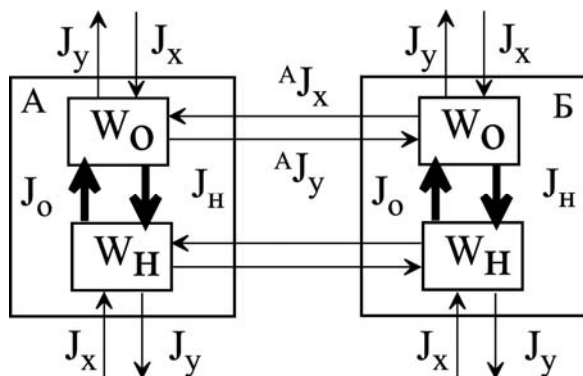


Рис. 7.3. Схема двух биокосных систем (А, Б) обменивающихся веществом. Общий запас органического (W_O) и неорганического (W_H) вещества в системе. Скорости синтеза (J_o) и разложения (J_H) органического вещества. Скорости поступления (J_X) и выведения (J_Y) веществ.

время биологического оборота биогенного запаса системы ($W_O/J_o = t$, год). Это значит, что в отсутствии процесса разложения весь неорганический углерод за время t переедет в органический и наоборот в отсутствии процесса синтеза за это же время весь органический углерод минерализируется. Важной характеристикой любого круговорота веществ является его *замкнутость* (замкнутость потока) которая оценивается коэффициентом замкнутости (K_3). Это оценка потерь вещества ($J_Y = J_o - J_H$) по отношению к другим характеристикам потока (цикла веществ), например к скорости синтеза (J_o). Существуют различные способы его расчета, в нашем случае: $K_3 = (J_o - J_H)/J_o$. В этом случае, чем значения K_3 меньше единицы, тем меньше величина потерь веществ из системы по отношению внутреннему потоку, а это значит, что система имеет более замкнутый обмен веществ.

Ниже приведем примеры циклических систем на разных уровнях организации биосферы

2. Кольцевые потоки на молекулярно-клеточном уровне

В границах отдельной клетки и в границах тела организма постоянно происходят два разнонаправленных процесса: синтез и деструкция молекул белка (рис. 7.4). Белковые молекулы в животных организмах «собираются» из аминокислот, часть из которых в организм поступает с пищей, а другая синтезируется организмом. Белки в клетках со временем повреждаются и не могут выполнять своих функций, «разбираются» на аминокислотные «кубики» из которых и из дополнительно поступивших аминокислот пищи собираются новые цепочки белковых молекул. В описанном цикле существуют потери. Аминокислоты включаются в другие процессы обмена и в любом случае разрушаются и выводятся за пределы организма. У организма в стационарном состоянии (не меняющегося в весе) количество выделяемого азота равно количеству азота, поступающего с пищей. Другими словами организм находится в азотистом равновесии. За счет белкового питания организм покрывает постоянную потерю в азоте (Вот почему надо питаться и кушать мясо). В случае, если в организм поступает недостаточное количество азота, то с каждым оборотом цикла общее количества белковых молекул в организме уменьшается, снижается масса организма, что в итоге может привести его к смерти. Также, в случае если недостаточно быстро белковые молекулы «собираются» и недостаточно быстро они «разбираются» то в каждом из этих случаев происходит серьезное нарушение функционирования (снижение структурной и функциональной устойчивости) клеток и в целом организма и возможной их гибели.

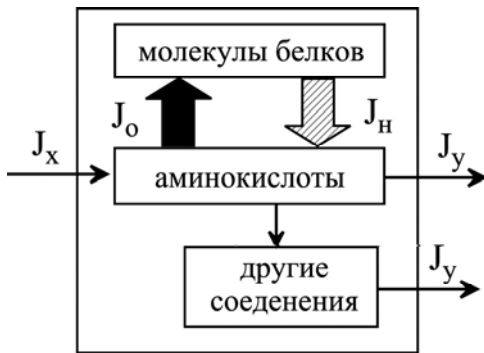


Рис. 7.4. Схема круговорота веществ на молекулярно-клеточном уровне (Азотный обмен). J_O , J_H — синтез и ресинтез молекул белка. Остальные обозначения те же, что на рис. 7.3.



Рис. 7.5. Схема круговорота веществ на организменном уровне. Органическое (О.) и неорганическое (Н.) вещество. Остальные обозначения те же, что на рис. 7.3.

3. Кольцевые потоки на уровне многоклеточного организма

Многоклеточный организм – это биокосная система, состоящая с одной стороны, из большого множества сложно структурированных клеток, образующих различные ткани и органы, а с другой, органические и минеральные вещества, не включенные в структуру клеток (содержимое межклеточных пространств, лимфы, плазмы крови, альвеол легких и др. полостей). Между названными структурами происходит постоянный обмен веществ (рис. 7.5). Клетки по продолжительности жизни во многом уступает организму-хозяину, но при этом «хозяин» не разрушается. Работает принцип проточных систем. С накоплением в структуре клеток повреждений («ошибок») клетки утрачивают способность нормально функционировать и подвергаются лизису («разборке»). Продукты лизиса поступают в тканевую жидкость, а оттуда через кровеносные и лимфатические капилляры и вены поступают в печень и почки, где все необходимые для организма вещества отделяются и по системе кровообращения возвращаются к клеткам организма, а ненужные удаляются за его пределы. В клетки поступает вещество, клетки растут и делятся, и, тем самым, поддерживается относительное постоянство их численности в организме. За счет возврата большей части веществ к клеткам, поддерживается (осуществляется) относительная автономность организма. С повышением уровня организации живого тела, уровень его автономности увеличивается. В случае, если у особи популяции данного вида происходит отказ механизмов возврата необходимых веществ организму и удаление ему ненужных, то такая особь погибает, удаляется из популяции и заменяется вновь рожденной.

4. Кольцевые потоки в экосистемах. Замкнутость круговорота

Биокосные системы леса, луга, степи (рис. 7.6). В их структуре выделяется косная (минеральные вещества атмосферы и почвы) и биогенная (растение, животные, грибы, микроорганизмы, сложные органо-минеральные продукты жизни) составляющие.

При рассмотрении биогеохимического круговорота веществ в экосистемах леса, луга, степи выделим два этапа превращений: первый – создание первичной продукции (J_0) и второй – ее деструкция (J_H). Вместе эти два процесса образуют относительно замкнутый цикл превращений веществ.

За вегетационный период растение создает новое органическое вещество (первичную продукцию). На создание нового вещества используется углерод (CO_2) из атмосферы и многочисленные минеральные вещества из почвы. Другими словами, растение в результате биохимических процессов синтезирует из неорганических веществ органические, а из них «конструирует» элементы своего тела. На втором этапе происходит обратный процесс – процесс деструкции («разборки»). Органическое вещество постепенно утрачивается, минерализуясь до соединений азота, фосфора, углерода и других элементов которые в свою очередь поступают в атмосферу и почву. Процесс разборки органических соединений длительный и многоступенчатый и представляет собой множества относительно замкнутых циклов («колец»), в которых участвуют различные группы организмов, начиная с фитофагов и заканчивая грибами и микроорганизмами.

Например, в экосистемах пастбищного типа большая роль в возврате химических элементов в окружающую среду принадлежит фитофагам. Растительоядные млекопитающие могут перерабатывать около 60 – 70% растительной продукции

(Обухова, Кедрова, 1968; Ларин, 1969; Нечаева, 1976; Абатуров, 1983). В этом случае более 35% массы зольных элементов и 30 – 40% белкового азота, содержащихся в надземной растительной массе пастбищ, высвобождается животными и в доступной растениям форме возвращается в почву с мочой и калом и в других формах. Одновременно фитофагами в процессе дыхания примерно 30% органического углерода освобождается в виде углекислого газа (Абатуров, 1983).

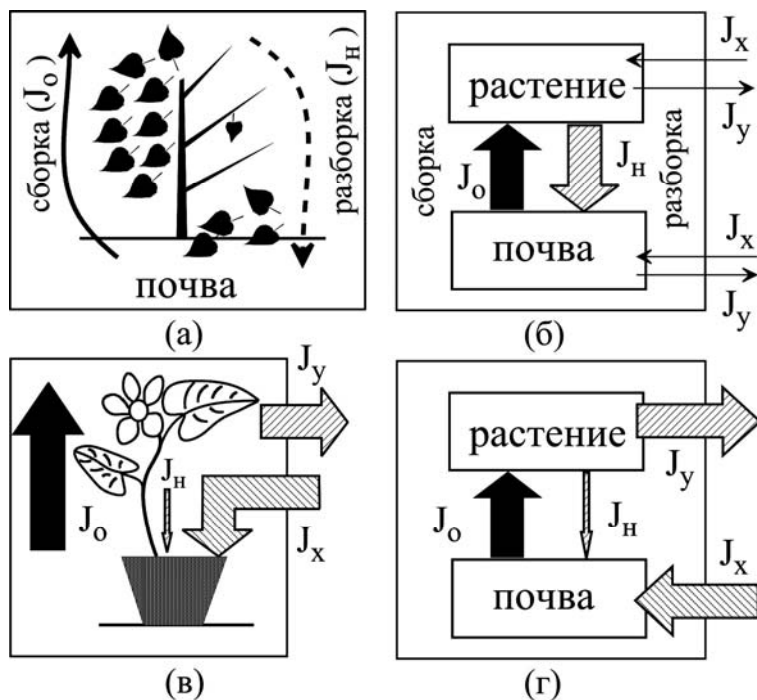


Рис. 7.6. Схема круговорота азота, фосфора и зольных элементов в системе «растение – почва». Обозначения те же, что на рис. 7.3.

В лесных экосистемах подавляющая часть продуцируемой фитомассы (60 – 85%) преимущественно в виде опадающих листьев поступает на поверхность почвы (рис. 5.6 а, б). В этом случае возврат азота с продуктами опада составляет 60 – 85% от его годового поступления в растения, а коэффициент замкнутости в системе «деревья леса – почва» варьирует в диапазоне 0.15 – 0.4 (табл. 5.1). Более высокие величины возврата (67 – 94%) и соответственно, более высокая замкнутость биологического круговорота (0.06 – 0.33) характерны для зольных элементов (табл. 7.2). Второй этап – это трансформация опавших листьев в гумус. Этот процесс длительный и многоступенчатый.

На рис. 7.6 в, г на примере комнатных растений показано нарушение замкнутости круговорота веществ в системе «растение-почва». Как и любые растения, комнатные растения формируют и поддерживают свою структуру за счет химических элементов, получаемых из почвы и окружающего их воздуха. Но в отличие от диких растений, комнатные растения возвращают обратно в почву только маленькую часть веществ, взятых из нее. Большая часть химических элементов, включенных в биомассу, после смерти растения, удаляется за пределы системы – «растение-почва».

В лесных экосистемах подавляющая часть продуцируемой фитомассы (60 – 85%) преимущественно в виде опадающих листьев поступает на поверхность почвы (рис. 7.6 а, б). В этом случае возврат азота с продуктами опада составляет 60 – 85%

от его годового поступления в растения, а коэффициент замкнутости в системе «дерева леса – почва» варьирует в диапазоне 0.15 – 0.4 (табл. 7.1). Более высокие величины возврата (67 – 94%) и соответственно, более высокая замкнутость биологического круговорота (0.06 – 0.33) характерны для зольных элементов (табл. 7.2). Вторым этапом трансформации опавших листьев в гумус. Этот процесс длительный и многоступенчатый.

Таблица 7.1. Ежегодный захват (μ_w , т/км²/год) и возврат (μ^*_{w} , т/км²/год) азота в распространенных типах растительности лесной зоны России. По данным: Казимиров, Морозова, 1973.

Типы растительности лесной зоны России	Ежегодный захват азота (μ_w), т/км ² /год	Ежегодный возврат азота (μ^*_{w}), т/км ² /год	$K = (\mu_w / \mu^*_{w}) \cdot 100, \%$	$K_3 = (\mu_w - \mu^*_{w}) / \mu_w$
Еловый лес северной тайги	5,8	4,8	82,8	0.172
Еловый лес южной тайги	4,1	3,5	85,4	0.146
Дубовый лес	9,5	5,7	60	0.40
Сфаговые болота южной тайги	4	2,5	62,5	0.375

Таблица 7.2. Ежегодный захват (μ_w , т/км²/год) и возврат (μ^*_{w} , т/км²/год) масс зольных элементов в фитоценозе еловых лесов Карелии. По данным: Казимиров, Морозова, 1973.

Элементы	Ежегодный захват элементов (μ_w), т/км ² /год	Ежегодный возврат элементов (μ^*_{w}), т/км ² /год	$K = (\mu_w / \mu^*_{w}) \cdot 100, \%$	$K_3 = (\mu_w - \mu^*_{w}) / \mu_w$
Ca	3.2	2.7	84.4	0.16
K	1.55	1.3	83.9	0.16
Si	1.45	1.35	93.1	0.07
Mg	0.55	0.45	81.8	0.18
P	0.4	0.3	75	0.25
Mn	0.33	0.29	87.9	0.12
Si	0.16	0.15	93.8	0.06
Al	0.15	0.12	80	0.20
Fe	0.12	0.11	91,66	0.08
Na	0.03	0.02	66.7	0.33

Баланс, составленный по углероду для смешанного горного леса США (Vogman, Likens, 1979), показал весьма высокую замкнутость биологического круговорота – коэффициент замкнутости по углероду ($K_3 = (J_o - J_H) / J_o$) равнялся 0.01. Это значит, что практически весь углерод, захваченный растениями в процессе создания первичной продукции (J_o), освобождается во внутреннюю среду экосистемы в процессе дыхания на втором этапе биогеохимического круговорота (J_H), где основная роль принадлежит различным группам животных, грибам и микроорганизмам.

Таким образом, в естественных системах, каким является лес, существуют относительно замкнутые потоки веществ, благодаря которым поддерживается постоянство структуры систем и параметров среды. Однако в масштабах геологического времени биосферы, небольшие величины годового изъятия углерода из цикла (накопление органических веществ в почве и дальнейшее их захоронение) привели к су-

пещественному снижению его содержания в атмосфере и увеличению там концентрации кислорода.

Кольцевые потоки в экосистемах открытой части океана. В биокосных системах открытой части океана фотосинтез («сборка») органического вещества происходит в поверхностном слое воды, куда в достаточном количестве поступает солнечная энергия (рис. 7.7). «Разборка», разложение органического вещества происходит на любой глубине. В результате средние глубины, на которых происходят эти процессы, различаются. Органическое вещество (взвешенное органическое вещество) из зоны синтеза погружается в глубину и разлагается на неорганические соединения в зоне окисления. В свою очередь неорганические вещества углерода, азота, фосфора в соответствии с градиентом их концентраций на глубине и у поверхности диффундируют из зоны окисления в зону синтеза, а кислород в противоположном направлении. В результате биогеохимического цикла поддерживается постоянство в вертикальном распределении неорганических веществ в открытой части океана от его поверхности до глубин порядка сотен метров. С глубиной увеличиваются концентрации неорганических соединений углерода, азота, фосфора и снижается концентрация кислорода. В случае прекращения жизни в океане концентрация неорганического углерода в верхнем слое воды станет такой же высокой, как и в нижних слоях. Так как поверхностная концентрация CO_2 океана находится в равновесии с атмосферной, то в этом случае равновесие сдвинется в сторону образования углекислого газа атмосферы. А это значит, усилится парниковый эффект, а с ним изменится климат на Земле.

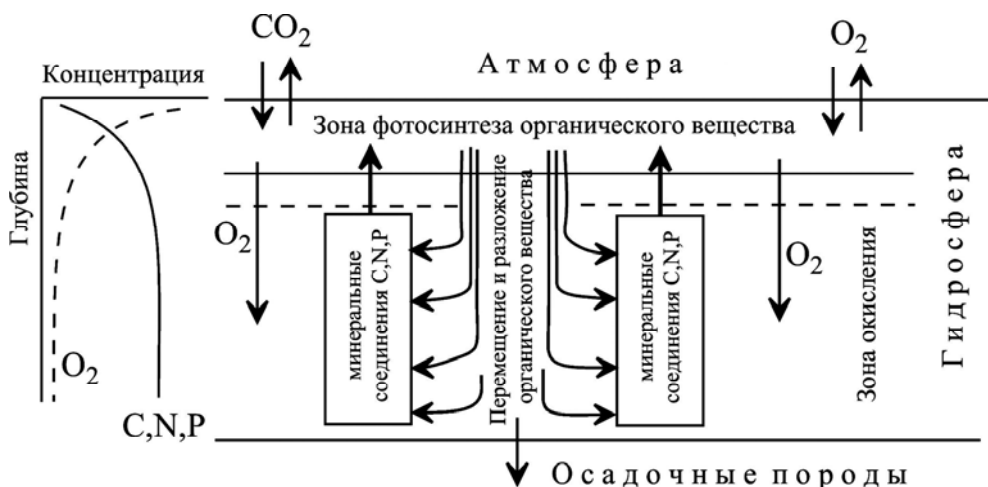


Рис. 7.7. Схема круговорота веществ в открытой части океана. В левой части рисунка показано изменение концентраций кислорода и минеральных соединений углерода, азота и фосфора.

Не всё органическое вещество минерализуется, небольшая его часть поступает на дно океана и накапливается в виде осадков. Тем самым химические элементы и в первую очередь углерод выводятся из цикла (круговорота). Потеря углерода отчасти компенсируется его поступлением из атмосферы в период активного фотосинтеза фитопланктона в верхнем, тонком слое воды. Поскольку не все органическое вещество окисляется, остается «невостребованный» кислород, который поступает в атмосферу.

5. Замкнутость круговорота углерода в биосфере

В работах В.Г. Горшкова (Горшков, 1990, 1995, Gorshkov et al., 2000) подробно рассматриваются вопросы устойчивости так называемой «окружающей среды» в масштабах биосферы. Это очень осведомленный исследователь предпочитает использовать понятие «окружающая среда». Он полагает, что устойчивость окружающей среды может поддерживаться только при строгой замкнутости биохимических круговоротов веществ. Любые внешние возмущения окружающей среды вызывают в естественной фауне и флоре биохимические процессы, компенсирующие эти возмущения (рис. 7.8). Ниже кратко рассмотрим это утверждение.

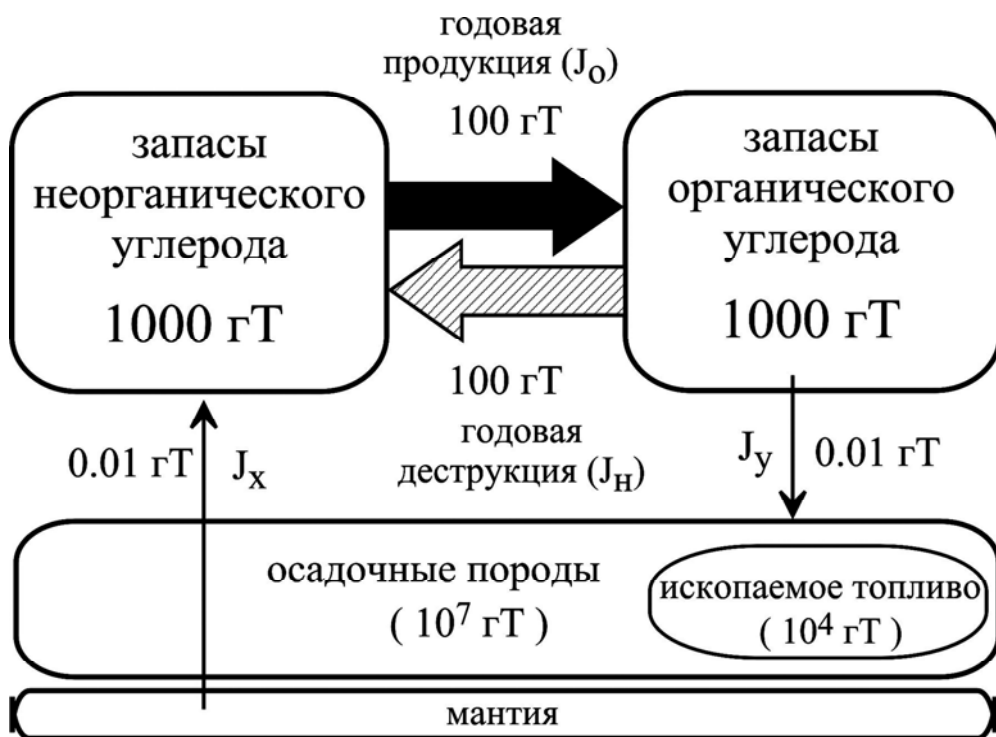


Рис. 7.8. Схема круговорота углерода в биосфере (по Горшкову, 1990, с изменениями).

Биохимический цикл углерода — биологический синтез (J_0) и разложение (J_H). J_X — поток выноса из земных недр неорганического углерода, в так называемую, «окружающую среду». J_Y — поток органического углерода из «окружающей среды» в осадочные породы.

В биосфере запасы органического и неорганического углерода совпадают по порядку величин (10^3 Гт, рис. 7.8). Это необходимое условие для возможности компенсации биотой любых изменений концентраций углекислого газа в атмосфере и океане, вызванные естественными возмущениями в биосфере. Ежегодно в биосфере синтезируется порядка 100 Гт органического углерода и за это же время примерно такое же количество органического углерода минерализуется (*биохимический поток углерода*, рис. 5.8). Реально количество синтезированного углерода превышает количество образуемого минерального углерода на величину порядка 0,01 Гт ($J_Y = J_0 - J_H = 0,01$ Гт). Это соответствует тому количеству органического углерода, которое ежегодно выводится из биохимического цикла в осадочные породы. Коэффициент замкнутости биохимического цикла соответственно равен: $K_3 = 0,01 \text{ Гт} / 100 \text{ Гт} = 10^{-4}$. Это

означает, что глобальные среднегодовые потоки биологического синтеза и разложения органических веществ компенсируют друг друга с относительной точностью порядка 10^{-4} .

Неорганический углерод поступает в биосферу за счет процессов дегазации (вулканической деятельности, фильтрации из мантии) и откладывается в процессе выветривания в осадочных породах. Разность между поступлением и отложением составляет чистый *геофизический поток неорганического углерода* в биосферу (J_X , рис. 7.8) который совпадает по порядку величин с потоком захоронения органического углерода в осадочных породах (J_Y) с относительной точностью 10^{-4} .

Биологический поток синтеза и разложения органического вещества в биосфере на много превышает геофизический поток неорганического углерода ($J_0 / J_X = 10^4$), ограничены и запасы веществ в биосфере. В таких условиях постоянное поддержание большой продукции какая имеет места в биосфере, возможно только при замкнутости биохимического круговорота веществ. Потоки синтеза и разложения должны совпадать с большой точностью (не менее трех значащих цифр). Это значит, что не совпадение с этой точностью будет вести к разрушению и уничтожению биохимического круговорота, а значит жизни на планете. В случае превышения синтеза над разложением всё неорганическое вещество переедет в органическое, а в случае превышения разложения, органическое вещество переедет в неорганическое. И в любом случае прекратится жизнь, какую мы сейчас знаем.

Если весь органический углерод, заключенный в толщах осадочных пород, т. е. выпавший из цикла древних биосфер ($9 \cdot 10^{15}$ т, Ковда, 1971, Базилевич, Родин, 1969) разделить на всё количество углерода, которое было использовано биосферой на протяжении всей её истории ($9 \cdot 10^{19}$ т) получается число порядка 10^{-4} (Печуркин, 1982). Это значит, что в среднем каждый атом углерода участвовал в цикле примерно десять тысяч раз, прежде чем был потерян для жизни в захоронениях литосферы.

Лекция 7.2. Научно-историческое подобие “новой химии” и экологии

1. Колебательные процессы и самоорганизация химических систем
2. “Поведение” химических систем

Одной из основ своей науки биологи считают исторический метод. Из него вытекает важное методологическое требование: чтобы понять жизнь организмов, необходимо изучать их эволюцию. Это относится и к познанию других систем, например, таких разных, как физические, химические и гуманитарные. Изучая эволюцию *телесных вещей*, можно лучше понять эволюцию *идей*. Изучая эволюцию идей физики, Альберт Эйнштейн и Леопольд Инфельд (1968) написали замечательную книгу, многократно издававшуюся во многих странах мира. Книга называется “Эволюция физики”. Её авторы последовательно, простым языком, без всяких формул объясняют основные законы физики. Читая “Эволюцию физики”, начинаешь гораздо лучше понимать природу жизни на Земле, в ее пространстве. Это и понятно: жизнь участвует в глобальном физическом процессе – движении, переносе массы с затратой энергии, что физика профессионально изучает и описывает. Столь же поучительна и эволюция химии. В эволюции химических и биоэкологических идей выявляется не просто внешняя аналогия биологических, экологических и химических структур и процессов, а их глубокое **системное подобие**. Расскажем об этом в короткой лекции.

В том, что биология имеет давнее и глубоко содержательное родство с химией известно всем окончившим среднюю школу. Однако в школьных учебниках по биологии это важное родство прослеживается на очень бедном, давно отставшем от фронта науки примере: организмы содержат те же самые атомы и молекулы, что и вся Земля. В высшей школе, а в начале XXI века тем более, о глубинном родстве косного Гео и живого Био можно и нужно рассказывать гораздо серьезнее и извлекать больше смысла.

Давно замечено, что в истории знаний, искусств и вообще разного рода умений, всегда были периоды спокойного развития и периоды “революций”. Содержащая революционные идеи “новая химия” складывалась на протяжении более века. Классическая химия описывала в сложных системах лишь их простейшие составляющие. Молекулы и их комбинации казались раз и навсегда созданными и устойчивыми состояниями, не склонными к какому-либо “поведению”, тогда как для живых существ собственное поведение – норма жизни. Казалось очевидным, бесспорным, что живые тела “качественно” (в философском смысле) отличаются от химических систем, что те и другие “принципиально” несопоставимы.

1. Колебательные процессы и самоорганизация химических систем

С тех пор произошла глубокая концептуальная перестройка науки. Процессы диверсификации (увеличения разнообразия) и эволюции свойственны не только жизни. Они происходят и хорошо изучены в косных физических структурах Земли и в мире химии. Более того, в объектах, которые прежде казались жестко детерминиро-

ванными, обнаружались вероятностные состояния и процессы. В совокупности это и многое другое привело к формированию так называемой “новой химии”. Произошло не просто очередное добавление к классической химии, а появился принципиально новый лик всей этой науки. Химия постепенно (как и новая экология) формировалась не путем механического сложения фактов из разных наук – это бы ничего не дало, а путем синтеза идей и фактических данных, взятых из различных областей знания, в том числе из так называемых “трудных наук”. Для этого пришлось отказаться от укоренившихся представлений о только лишь равновесном химическом процессе и перейти к идее саморазвития реакций и возникающих при этом совершенно новых структур. Оказалось, что химические реакции могут происходить неравномерно во времени, в колебательном режиме. Казавшееся ранее неизбежным термодинамическое равновесие не всегда наступает, его неизбежность отменяется. Но вот, что было самым неожиданным: в состоянии потоков и меняющихся градиентов концентраций молекулы начинают проявлять *самоорганизованность, кооперируют между собой*.

Кооперация на молекулярном уровне приводит к нескольким типам надмолекулярной организации (вспомним потребность экологии различать организменный и надорганизменный уровни). Такая организация двулика. С одной стороны, она проявляется самопроизвольно, без участия каких-либо организующих внешних факторов. Это *самоорганизация*. С другой стороны, для неё требуется постоянный приток и отток вещества и энергии, наличествуют так называемые *диссипативные структуры*.

Появление “новой химии” началось с наблюдений химиков-технологов, работавших с реакторами открытого, проточного типа, в которых требуется постоянный выход химического продукта. Неожиданное поведение химических систем наблюдалось в газовых реакторах, работающих в стационарном режиме, при постоянной температуре. На фоне такого режима стали обнаруживаться периодические температурные автоколебания. В еще в 30-е годы XX века Франк-Каменецкий дал математическое описание колебательного процесса, используя модель Лотки-Вольтерра. Примечательно, что в экологии та же модель описывает поведение совсем другой системы – потока вещества в пищевой цепи сообщества, состоящей из хищников и их жертв, сосуществующих в течение длительного времени. Для двух видов живых существ, N_1 и N_2 (например, заяц и рысь), связанных отношениями “хищник-жертва” Модель Лотки-Вольтерра для пары видов записывается так:

$$dN_1/dt = k_1 A N_1 - s N_0 N_2$$

$$dN_2/dt = s N_1 N_2 - k_2 N_2$$

Решение двух этих сопряженных уравнений имеет временную зависимость (рис. 7.9). Период колебания зависит также от начальных условий, в данном случае от исходного количества зайцев и рысей. Решение нескольких сопряженных нелинейных дифференциальных уравнений, предложенное Пуанкаре, дает лучшее описание колебательных явлений. В отличие от модели Лотка-Вольтерра, в модели Пуанкаре конечный результат не зависит от начальных условий (рис. 7.10). Не зависящие от начальных условий устойчивые периодические колебания – характерная черта как химических, так и биоэкологических процессов (в живых и жизнеобитаемых объектах – на уровне организмов, сообществ, биосферы в целом).

Хрестоматийный пример из биологии – ритмика сердечной деятельности. Один из легко наблюдаемых внешних признаков осцилляций в химических реакциях – периодическая смена цвета раствора в реакторе. Биологам тоже широко известна способность некоторых животных быстро изменять, окраску покровов; известна также цветовая пятнистость с плавными переходами окраски у растений, полосатость у

животных (зебры). На экологическом уровне всем знакома периодическая (сезонная) смена окраски растительности. Выяснилось, что все это повторяется и в химических процессах.

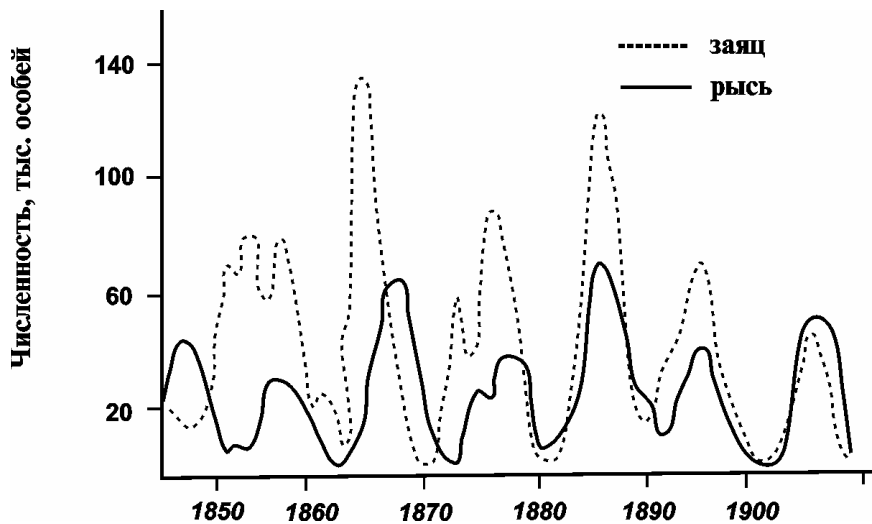


Рис. 7.9. Колебательный процесс в цепи “хищник-жертва” (заяц-рысь).
Из книги: Хорстхемке, Лефевр(1987).

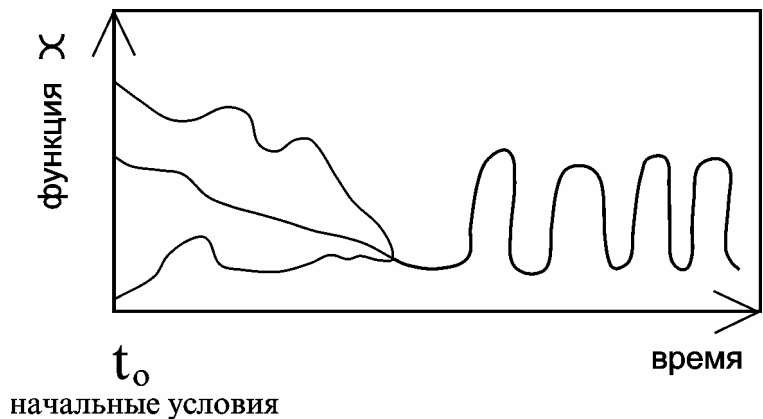


Рис. 7.10. Схема колебательного процесса с разными начальными условиями.
Из книги: Хорстхемке, Лефевр(1987).

2. “Поведение” химических систем

Фундаментальное сходство структур и процессов в природе стало одной из отправных точек в развитии современного системного мышления. В сороковые годы XX века Людвиг Берталанфи, Эрвин Шредингер, Илья Пригожин и другие стали, каждый в своей области знаний, разрабатывать теорию открытых динамических систем. Одной из исходных посылок стало то, что в живых организмах как бы не соблюдается второй закон термодинамики, предполагающий обязательный переход закры-

тых систем (напомним, что это понятие является только абстрактной моделью, методологическим приемом, позволяющим, временно отойти от реальности, в которой условия закрытости и открытости совмещены) в неупорядоченное состояние. Иными словами, в живых системах не действует, как казалось, закон нарастающей негэнтропии (упорядоченность в эволюции и в первой части онтогенеза явно увеличивается). Это можно выразить еще и другими словами: чтобы организованность живого тела возрастала, оно должно “питаться неэнтропией” окружающей среды, т.е. увеличивать ее неупорядоченность, разрушать ее природную организованность.

Поведение упорядоченных систем, в том числе и химических, характеризуется особым рода неустойчивостью. Вот как профессионалы-химики её описывают на одном из примеров: “Она (упорядоченность – авторы) возникает в горизонтальном слое жидкости с вертикальным градиентом температуры. При пороговом значении градиента жидкость перестает быть гомогенной и в ней возникает конвекция, порождающая сложную пространственную организацию в форме, например, правильных шестиугольников. Это результат кооперирования колоссального числа молекул” (Баблюянец, 1988, с.169).

В конце 50-х годов XX века российский химик Белоусов проводил реакцию окисления лимонной кислоты в присутствии ионов церия Ce^{+3} – катализатора, который одновременно был окрашенным индикатором реакции. Гомогенный раствор в реакционном сосуде периодически изменял окраску с бледно-желтой на бесцветную. Через несколько лет Жаботинский этот опыт повторил и подтвердил. С 60-х годов колебательные реакции вошли в химическую литературу. В экологической же литературе были описаны колебательные процессы в цепях хищник-жертва с самыми разными живыми участниками.

В колебательных “химических часах” каждая стадия процесса начинается при очень узких границах концентрации компонентов, что имеет аналогию в экологических процессах. Колебания прекращаются при недостатке энергии. Если проводить реакцию в тонком слое раствора, налитого в чашку Петри, то с течением времени на поверхности раствора начинают появляться геометрическая упорядоченность – узкие диффузные зоны, волновой фронт (как при распространении эпидемий). Геометрический рисунок инициируется, например, вкраплениями твердых частиц, или какими-то внутренними причинами.

В химических системах неопределенные внешние факторы (*шумы*) могут вызывать не только флуктуации внутренних характеристик, но и качественную перестройку режима работы системы, приводить к незатухающим осцилляциям и к новым стационарным состояниям. Весь этот класс явлений обобщается понятием *индуцированных шумом переходов* (Хорстхемке, Лефевр, 1987).

Случайный, шумовой фактор среды может индуцировать в химической системе более организованное (тоньше структурированное) состояние и сложное поведение. Индуцированные шумом переходы возможны только при условии, если окружающая среда в той или иной степени случайна. В контексте этого курса лекций уместно сказать, что в дискретных обитаемых пространствах, например, внутри древесных крон, в пологах леса и других растений, среда изменена обитателями и даже определенным образом организована и защищена, по крайней мере, от некоторых случайных колебаний. В упомянутой выше книге об индуцированных шумом переходах, читаем: “В отличие от широко распространенного взгляда на порядок и случайность, как на взаимоисключающие противоположности, они в действительности находятся в состоянии симбиоза” (там же, с. 8 – 9).

Прежние представления о флуктуациях во внешней среде только как о помехах, опирались на изучение сравнительно узкого класса явлений. Поведение нелинейных систем в среде с шумом таким представлениям противоречит. Систематиче-

ские экспериментальные и теоретические исследования второй половины XX века показали, что в общем случае поведение системы значительно отличается от известной ранее полой схемы. В широком классе явлений природы случайный характер среды способен индуцировать гораздо более богатое разнообразие режимов, чем те, которые возможны при соответствующих детерминированных условиях.

Приведем в заключение выдержку из обзора, посвященного без малого вековой истории “новой химии”: “Реакция Белоусова-Жаботинского с ее необычными свойствами коренным образом изменила наши представления о динамике химических процессов. Химический процесс больше не представляется нам как смешение каких-то инертных компонент, из которых образуются “безжизненные” продукты. При удалении от состояния химического равновесия – неперемного условия протекания процессов во всех живых организмах, химические реакции “оживают”. Они “чувствуют” время, распространяют информацию, различают прошлое и будущее, правую и левую сторону. Реакция может проявлять различные формы самоорганизации, например, образовывать мозаичные структуры. Если же воздействия на них слишком сильны, то реакции начинают проявлять “нерешительность”, их поведение становится хаотичным или “непредсказуемым” (с. 190 – 191, там же).

Лекция 7.3. Экологический метаболизм

1. Граничные поверхности, их соотношения и молекулярные транспортные расстояния в обитаемых пространствах
2. Кусочно-линейная модель молекулярного пути в ограниченном экологическом пространстве
3. Соотношение питающей и питаемой поверхностей

В классической экологии в качестве главных региональных объектов выступают экосистемы. Понятно, что модель экосистемы должна отражать потоки веществ, реализуемых при участии живых тел, детритных частиц, и водорастворимых и газовых молекул, а также разных твердых косных тел с их внешними поверхностями. Для анализа связей с участием телесных масс организмов в классической экологии используется язык *трофодинамики и трофоэнергетики*. Однако для описания молекулярных потоков он не подходит, и вот почему. Молекулярные растворенные и летучие метаболиты, выделяемые во внешнюю среду разными организмами, играют не только трофическую роль. Множество внешних метаболитов имеет не столько трофические, сколько регуляторные задачи. Обширная группа внешних метаболитов выполняет чисто сигнальные функции. У внешних метаболитов есть и другие специализации (о них ниже).

Молекулярный обмен веществ в экологических объектах, осуществляемый путем передачи питательных минеральных веществ и органических метаболитов через водную и воздушную среды (включая почвенную воду и воздух), здесь и далее называется экологическим метаболизмом (Хайлов, 1971). Некоторые авторы относят к сфере экологического метаболизма только органические метаболиты и их динамику, т.е. молекулярную *трофодинамику* без веществ с сенсорными функциями. Концептуальная схема экологического метаболизма, соединенная во многих точках с сетью связей типа хищник-жертва, показана на рис. 7.11. Перенос свободных молекул в воде и воздухе – это базовый тип экологического метаболизма, свойственный древнейшей биосфере с ее микробным населением. Процессы при участии жертв и хищников – эволюционно молодой тип межорганизменного обмена. В телах сложных многоклеточных организмов молекулярные потоки идут главным образом по структурно оформленным путям (сосудистые системы и лишь отчасти путем диффузии). В экосистемах же структурно оформленные транспортные пути переноса органических веществ, как правило, отсутствуют. В молекулярном переносе веществ в экосистемах и биосфере участвует и диффузия, но гораздо важнее водные и воздушные течения и турбулентные вихри разного масштаба. Молекулярный внешний обмен веществ фундаментально “подстилает” современную жизнь и обмен веществ между хищниками и их жертвами. Изучение именно этой, эволюционно молодой формы межорганизменных связей в сообществах тканевых организмов привело к представлениям о “естественном отборе” и “борьбе всех против всех”.

Формальный язык, необходимый при изучении и описании молекулярных потоков, в предшествующих лекциях отчасти уже использовался.

1. Граничные поверхности, их соотношения и молекулярные транспортные расстояния в обитаемых пространствах

Водоёмы – океаны, моря, бесчисленные озёра, пруды являются не только объектами пристального внимания разных наук, но постоянно, с разными целями используются людьми. В учебниках по географии и в географических справочниках о водоёмах обычно сообщаются три их главные численные характеристики – объем воды, площадь поверхности зеркала и средняя глубина, определяемая путем промеров глубин из разных точек зеркала. Объем чаши водоёма вычисляется как произведение площади поверхности (S) на зеркала на среднюю глубину (L_1). Между тем в обмене веществ любого водоёма участвуют и другие граничные поверхности. Это площадь поверхности дна (величина трудно вычислима и почти всегда неизвестна) и суммарная площадь внешней биологической поверхности каких-либо групп водных организмов (иногда вычисляется) или всей биоты (в экологических расчетах используется редко).

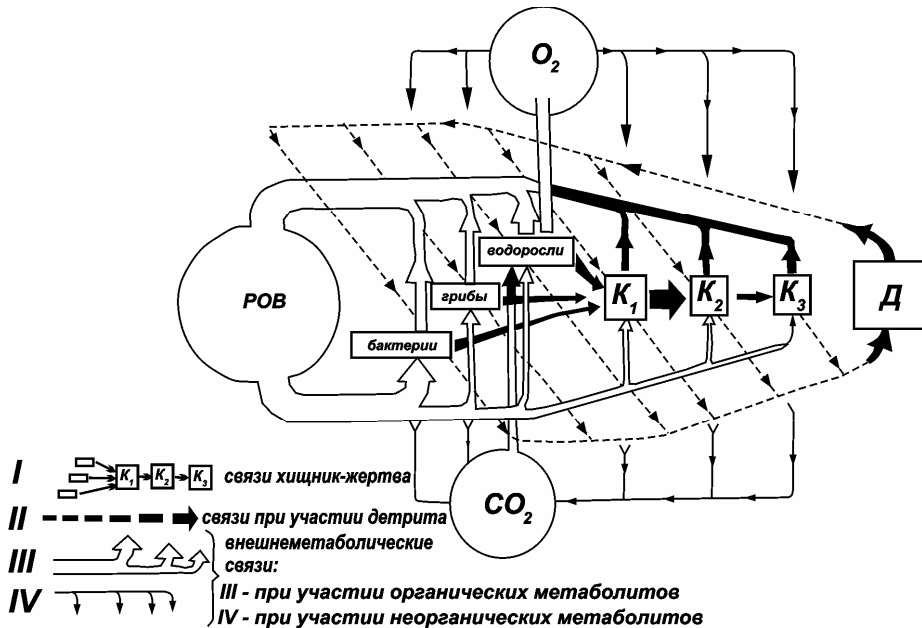


Рис. 7.11. Принципиальная схема экологического метаболизма.

K_1, K_2, K_3 , - консументы 1, 2, 3 -го порядка; РОВ – растворённое органическое вещество морской воды; Д – детрит.

Понятно, что для вычисления общей площади живой поверхности какой-либо группы организмов необходимо знать среднюю площадь поверхности типичной по массе тела особи данного вида и численность его популяции в водоёме. По отношению к морскому и пресноводному фитопланктону такие расчёты выполняются и результаты публикуются. В наземных и водных экосистемах нередко вычисляется общая площадь биологической поверхности особей и локальных групп разных видов одноклеточных и многоклеточных водорослей, а также высших растений. Методики оценки площади поверхности имеются также по основным сельскохозяйственным и

древесным растениям; учитывается либо общая поверхность листьев и стеблей, либо только листьев.

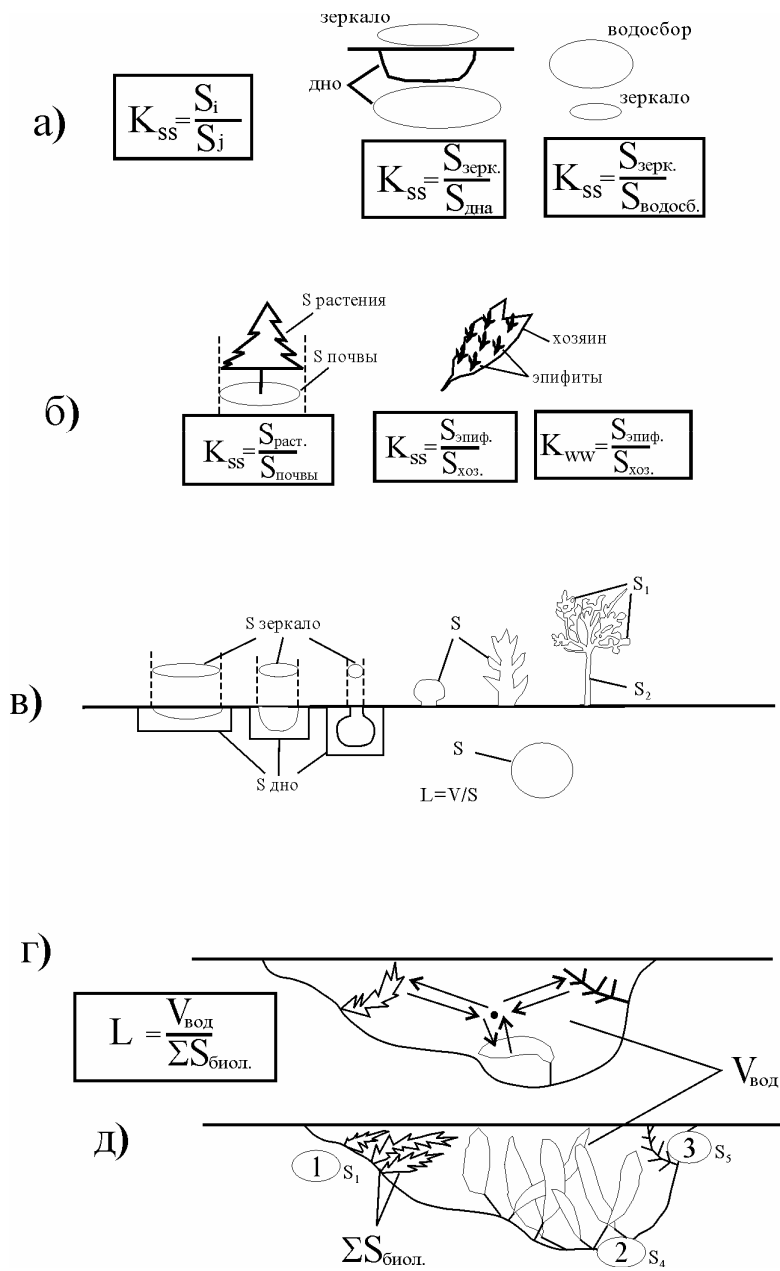


Рис. 7.12. Схемы, показывающие ситуации, в которых существенными являются биологические и экологические поверхности раздела фаз (S , ΣS), и их соотношения (K_{ss}), существенные в наземных и водных фитосистемах разной геометрической формы и уровня организации. Стрелками в секторе (г) показаны направления диффузионных потоков (L) питательных веществ между водой и разными видами донных водорослей. Подробные пояснения и интерпретации в тексте.

Граничные поверхности условно можно подразделить на биологические (поверхность листа, корня, стебля, целого водного или наземного растения, популяции растений и фитоценоза и т. д.) и поверхности косных тел (зеркало водоема, дно, в наземных экосистемах чаще всего почва, площадь водосборной территории, площадь леса, агропосева и т.д.).

Между косными граничными поверхностями происходит обмен веществ через атмосферу или водную толщу (кислород воздуха через воду достигает дна, а выделяемые со дна химические вещества доходят до поверхности водоема и до разных биологических поверхностей в толще воды). Поэтому для интерпретации обмена веществ в наземных и водных экосистемах нередко используются безразмерные соотношения разных площадей поверхности. В водной экологии используется “коэффициент K_{ss} ”. В общем виде: $K_{ss} = S_i/S_j$, где i и j – разные мерные поверхности. На рис. 6.4 *а – з* показано несколько вариантов таких соотношений; чаще всего i – это разные биологические поверхности (и соотношения Био-Био), j – разные экологические поверхности (и соотношения Био-Гео). Интерес представляет также соотношение двух разных косных поверхностей, например площади поверхности зеркала озера и площади водосборной территории впадающих в озеро рек (соотношения Гео-Гео). На рис. 7.12 *а – б* показано несколько разных вариантов, когда K_{ss} вычисляются и используются при интерпретации обменных процессов в экосистемах.

Численные значения глубины (L) водоемов необходимы и часто применяются для практических целей. В науке средняя глубина, площадь поверхности зеркала и объем водной массы связывается соотношением: $L_1 = V_{\text{вод}}/S_{\text{зерк}}$. В тех пока ещё редких случаях, когда площадь поверхности дна ($S_{\text{дно}}$) известна, может быть вычислена ещё одна научно важная характеристика водоема: $L_2 = V_{\text{вод}}/S_{\text{дно}}$. Смысл L_2 тот же, что и для L_1 : среднее расстояние между всеми точками на поверхностях $S_{\text{дно}}$ и всеми точками в объеме V . Понятно, что в любом случае $L_2 > L_1$, а поэтому “глубиной” в общепринятом смысле L_2 называть не следует. Каков же её смысл и как её следует правильно называть?

Рассмотрим сначала одну биологическую ситуацию. Внешняя поверхность листа или стебля растения вычисляются из простых геометрических соотношений; вполне вычислима и общая поверхность разветвленного тела растения*. По массе и удельному весу тканей вычисляется его геометрический объем. Какой биологический смысл по отношению к телу растения может иметь соотношение $L_3 = V_{\text{раст}}/S_{\text{раст}}$? Можно полагать, что это среднее расстояние между всеми точками на поверхности $S_{\text{раст}}$ и всеми точками в объеме его живого тела $V_{\text{раст}}$. С формальной точки зрения, L_3 – это средняя длина линейного (диффузия) пути молекул вещества, проходящих от внешней поверхности растения во все точки в объеме растения. Иными словами, L_3 – это *длина среднего минимально возможного метаболического пути в толщу, в объем растения (поступление пищевых веществ) или обратно (выделение наружу молекулярных продуктов жизнедеятельности)*. Параметр L_3 можно, поэтому интерпретировать как **“метаболическую глубину” живого тела**, в данном случае – растения.

Нетрудно убедиться в том, что ситуация с водоемами разной геометрической формы аналогична. В большинстве случаев водоемы относительно плоски, при глубине гораздо меньше длины и ширины (фигура крайняя слева). Встречаются и относительно глубоководные озёра и пруды (второй тип в ряду водоемов на рис. 7.12 *в*). Редко, но встречаются водоемы в форме бутылки (третий тип). Известны также затопленные водой пещеры и расщелины с узким горлом и небольшим зеркалом. В водо-

*Для разных групп растений, низших и высших методы расчета биологических поверхностей имеются во многих публикациях, например в обзорах: (Хайлов и др., 1992; Хайлов, и др., 2004; геометрия клеток одноклеточных водорослей: Hillebrand et al., 1999).

ёмах с узким горлом площадь зеркала (в широком смысле – воздушного входа) гораздо менее важна, чем общая площадь дна и внутренних стенок. Химические и некоторые физические свойства воды в подземных водоёмах во многом определяются составом пород на их внутренней поверхности. Да и в типичных поверхностных водоёмах геохимический состав скальных донных пород, илов и разных органических отложений существенно влияет на химизм воды и на жизнь гидробионтов.

В общем случае, с учетом разных пользовательских целей *в водоёме по мере надобности можно учитывать* (хотя иногда путем не всегда простых вычислений) *площади всех поверхностей, через которые обмен веществ осуществляется разным путём.* Полная* границная поверхности водоёма такова:

$$S_{\Sigma} = S_1 + S_2 + \dots S_n.$$

Где 1, 2, ..., n – разные типы внешней поверхности водоёма.

Водоёмный параметр типа $L_3 = V_{\text{вод}}/S_{\text{общая границная}}$ можно рассматривать как *метаболическую глубину водоёма*, отличную от его традиционно вычисляемой глубины ($L_1 = V_{\text{вод}}/S_{\text{зерк}}$). $L_3 = V_{\text{вод}}/S_{\text{парц}}$ (здесь $S_{\text{парц}}$ – каждая *парциальная* площадь поверхности) может интерпретироваться как *длина метаболического пути между всеми точками в объёме $V_{\text{вод}}$ и всеми точками на данной парциальной поверхности $S_{\text{пар}}$.*

Термин "метаболическая глубина" можно использовать по отношению к воздушной и водной средам. В водоёмах он наиболее подходит в двух случаях: а) когда изучается обмен веществ между водной массой и окружающими средами – воздухом и дном, и б) когда изучается обмен веществ между внешней поверхностью водоёма и живыми организмами в толще воды. Во втором случае наиболее активной оказывается внешняя биологическая поверхность всех организмов или отдельных экологических групп. В экологическом метаболизме разные биологические поверхности играют основную роль.

Значения L_3 для индивидуального объёма живых тел разной формы (рис. 7.12 в, три позиции справа) могут быть вычислены как по отношению к его общей поверхности, так в соответствии с функциональными различиями поверхностных тканей. Например, у деревьев принято рассчитывать отдельно общую площадь поверхности листьев (S_1 на рис. 7.12 в) и поверхности ствола и одревесневших ветвей (S_2). Понятно, что интенсивность обмена веществ через эпидермис листа с устьицами и кору ствола не может быть одинаковой.

Для экологов, интересующихся жизнью растений, животных и микроорганизмов в окружающей среде, особенно изучающих их внешний обмен веществ, желателен и возможен дифференцированный учет разных биологических и экологических поверхностей. На рис. 7.12 з, схематически показан водоём с тремя видами донных водорослей. Черной точкой обозначен условный метаболический центр водоёма, символизирующий все точки внутри водного тела с пищевыми молекулами в них. От метаболического центра к внешней поверхности растений направлены стрелки, символизирующие прямые и обратные молекулярные потоки (диффузионные, если нет

*На самом деле, полную граничную поверхность водоёма определить сложно, поскольку она очень динамична. Поверхность дна сколь угодно дробима (фрактальна). Дно составлено частями любого размера и расчёт S_{\square} можно проводить с разным шагом по дну. Поверхность воды тоже не зеркально гладка; ветровое волнение постоянно изменяет S зеркала. Для глубокого понимания обмена веществ водоёма с окружающим его земным пространством нам ещё далеко. Однако, в научной литературе эта группа вопросов рассматривается в лекциях для университетов (Лебедев, 1986).

стратификации и перемешивания), длина которых зависит от общей геометрической конфигурации системы “вода-организмы”.

Зная площади живой поверхности разных групп растений и скорость роста их массы, можно рассчитывать суммарные потоки веществ, поступающих на активную поверхность каждой видовой группы растений. По скорости роста массы каждого вида, можно вычислить скорость потока углерода (dW/dt), необходимого для синтеза прироста за время t живой массы. Разделив эту величину на площадь живой поверхности растений каждого вида, получим значения $\mu_s = dW/S dt$. Такие же расчеты можно провести и по результатам экспериментов с усвоением отдельных питательных веществ с радиоактивной изотопной меткой. Понятно, что при наличии соответствующих экспериментальных возможностей, таким же образом можно вычислить молекулярные потоки веществ к сообществу фитопланктона или бактериопланктона водоёма. В свою очередь, это даёт возможность обоснованно оценивать наличие или отсутствие пищевой конкуренции между видами, совместно использующими общий трофический пул водоёма. На рис. 7.12 δ показана ситуация доминирования одних видов над другими, что может вызывать (или не вызывать) конкуренцию за пищевые ресурсы.

2. Кусочно-линейная модель молекулярного пути в ограниченном экологическом пространстве

Биологи и даже экологи описывают обитаемое пространство, геометрические понятия чаще всего не используя. Среда в биологическом понимании не имеет ни геометрического объема, ни внешней поверхности, которые присущи всем вещественным телам природы. Между тем, географическое пространство расчленено самой природой и каждая отдельность, дискретная часть, имеет определенный объём, площадь внешней поверхности, массу вещества в данном отсеке. Главные геоморфологические структуры на поверхности Земли общеизвестны. Это континенты, океаны, острова, моря, озёра, пруды и т.д. вплоть до мельчайших песчинок, пылинок и короткоживущих дождевых капель и капелек висящего в воздухе тумана. Численные характеристики главных геоморфологических объектов приводятся в географических справочниках и учебниках. Излагаемая ниже модель непременно требует, чтобы **экологическое пространство имело геометрические очертания, границы и было измеримо**. В качестве стандартного биологического пространства удобна и обычно используется фигура куба. Удобство состоит в том, что набором кубиков соответствующего размера можно с любой степенью точности заполнить любую другую объемную фигуру, водоёмы, почвы, илы и организмы самой разной формы.

Кусочно-линейная модель молекулярного пути (Хайлов, Юрченко, Шошина, 2001), позволяет описать последовательные этапы переноса молекул (например, CO_2) из воздуха в определенный отсек экосистемы, а затем в ткани растения. Тот же путь, но в обратном направлении проходят выводимые из тканей молекулярные продукты метаболизма. Рассматривать будем идеальный случай когда в толще воды нет стратификации и течений, т.е. действует только механизм диффузионного переноса (в целях упрощения задачи допускается также, что в растении нет сосудистой системы).

Первый этап переноса вещества в водоёме – это поступление CO_2 через его плоское зеркало в толщу воды. На рис. 7.13 (верхняя часть) показана кубическая высечка воды из экосистемы. Все стороны куба, находящегося в толще воды, открыты для обмена веществ. Чтобы упростить задачу, будем рассматривать обмен только через верхнюю поверхность куба. Объём высечки обозначен символом V_{n+1} . Поверхность, S_{n+1} , “зеркала” затемнена. Затемнена и метаболически активная поверхность

растения S (овал на теле условного растения с объемом V). Чёрными точками обозначены метаболические центры воды и тела, и двух поверхностей. Справа от куба выписаны смысловые значения трёх участков молекулярной цепи. Средняя длина молекулярного пути на участке от всех точек на поверхности “зеркала” ко всем точкам в объёме куба равна: $L_1 = (V_{n+1})/S_{n+1}$. Второй участок – путь молекул из всех точек в объёме куба ко всем точкам на внешней поверхности растения: $L_2 = V_{n+1}/S$. Третий участок – от всех точек на поверхности растения ко всем точкам в его живом объёме: $L_3 = V/S$. Параметр L_1 целиком принадлежит экосистеме, а параметр L_3 принадлежит организму. Наиболее интересным является параметр L_2 , **характеризующий биокосный объект** – экосистему вместе с её обитателями.

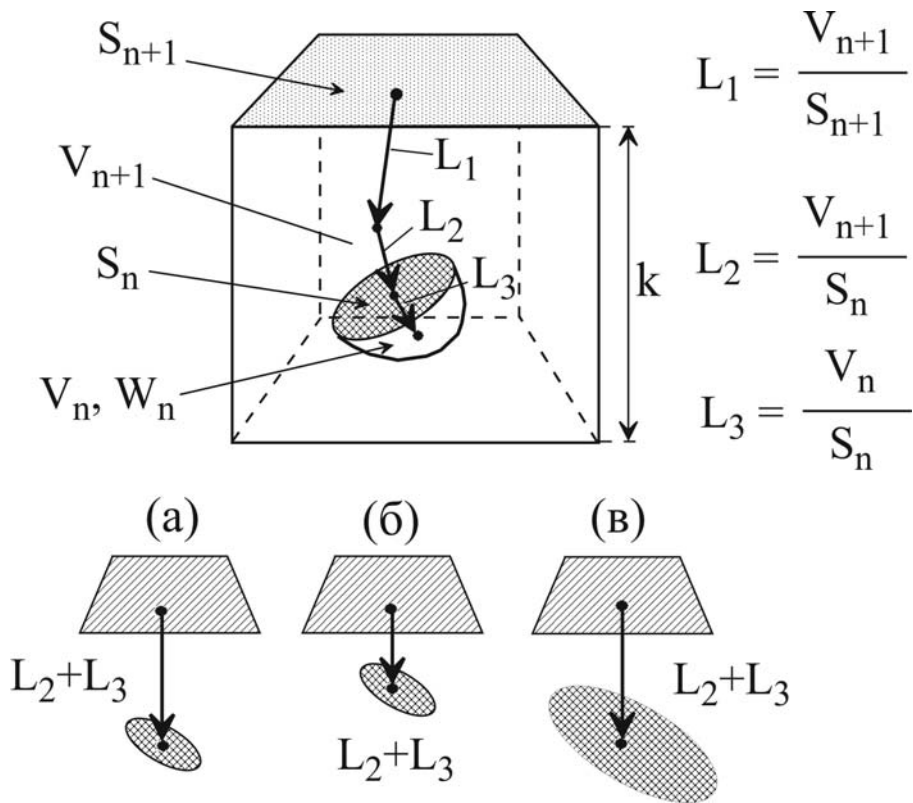


Рис. 7.13. Метаболически активные поверхности (S) и длины метаболических путей (L). Пояснения в тексте.

Понятно, что дискретные поверхности S (соответствующие разным группам организмов) могут быть сколь угодно разными по величине. Различаться могут и расстояния L между узлами пути. Независимые изменения разных линейных путей могут отобразить сколь угодно разные экологические ситуации. Графическая модель на рис. 7.13 позволяет предусматривать и обдумывать разные ситуации, которые могут иметь место в реальных экологических объектах - в водоёмах (в планктоне и бентосе) или в наземных системах, например, в растительных пологах (в пологе природных трав, в посеве кукурузы, в лесу т.п.).

Заметим, что ситуации (a) и (б) на рис. 7.13 сходны по соотношению S_{n+1} и S , но различаются по общей длине молекулярного пути $L_2 + L_3$ в экологическом объёме V_{n+1} . Ситуации (б) и (в) различаются как по S_{n+1} и S , так и по $L_2 + L_3$. Естественно

ожидать, что при неизменной концентрации питательных веществ в воде количество биогеохимической работы по переносу веществ будет разным, в зависимости от общей геометрической конфигурации всей системы. Соответственно будут различаться и энергозатраты обитателей. В нормальном состоянии биокосная система должна стремиться к оптимальной геометрической конфигурации, которой соответствует минимальная длина общего молекулярного пути к каждому живому объекту, а соответственно и минимум энергозатрат. Поскольку непосредственно измерить энергозатраты довольно сложно, пойдем обходным путем.

Заметим важный экологический смысл дроби S_{n+1}/S : это соотношение двух метаболически активных поверхностей – *питающей* (граница воздух-вода), и *питаемой* (граница вода-организм). Растения и животные могут регулировать это соотношение через величину S , которая, свою очередь, определяется плотностью популяции (иными словами, концентраций “живого вещества” в объеме воды и его дисперсностью: $C_w = W/V_{n+1}$). Плотность популяции связана с интенсивностью обмена веществ и с затратами энергии.

3. Соотношение питающей и питаемой поверхностей

В научной литературе имеется немало сведений о площади внешней поверхности разных групп организмов и их групповых совокупностей, в частности, популяций и сообществ фитопланктона, бактериопланктона, морских многоклеточных водорослей и высших наземных растений. Возьмем из литературных источников необходимые исходные данные и вычислим для разных экологических объектов параметры S_{n+1}/S и C_w . На рис. 7.14 *а* показано соотношение этих величин в кроновых пространствах двух видов морских донных макрофитов – аскофиллума и фукуса. Как видим, между этим параметрами соблюдается закономерное соотношение, которое в общей форме имеет вид:

$$C_w = a (S_{n+1}/S)^{-b}. \quad (2)$$

На рис. 7.14 *б* соотношение между C_w и (S_{n+1}/S) показано на разных объектах. Линия 1 с рис.1. Линия 2 показывает аналогичное соотношение в пологе ламинарии, линии 3 – в популяциях трех видов в черноморском фитопланктоне. Линия 4 показывает то же самое в озёрах с фитопланктоном, 5 – в сообществе донных водорослей в двух литоральных ваннах на побережье Баренцева моря.

Как следует из сравнения разных экологических ситуаций, уравнение (2) является общим правилом для всех этих случаев, а углы наклона регрессий указывают на различия в геометрической конфигурации соответствующих экосистем (рис. 7.12).

Большой угол наклона регрессии к абсциссе, выражаемый коэффициентом b (в объектах, на рис. 7.14 значения b лежат в диапазоне 0.86 до 1.81), показывает, что соотношение питающей (в водоеме) и питаемой (в популяции водорослей) поверхностей является весьма сильным фактором, влияющим на плотность популяции растений. Понять, почему соотношение S_{n+1}/S является таким “влиятельным”, можно из следующего рассуждения. Пусть в комнате вывешена на просушку мокрая простыня с площадью поверхности S . В комнате имеется окно и форточка (S_{n+1}). Чтобы простыня быстрее высохла необходимо увеличивать приток воздуха извне, т.е. распахнуть форточку или открыть окно, а также уменьшать расстояние (L_1+L_2) между простыней и форточкой. Соотношение двух граничных поверхностей, питающей и питаемой – один из важнейших регуляторов молекулярных потоков в экосистемах.

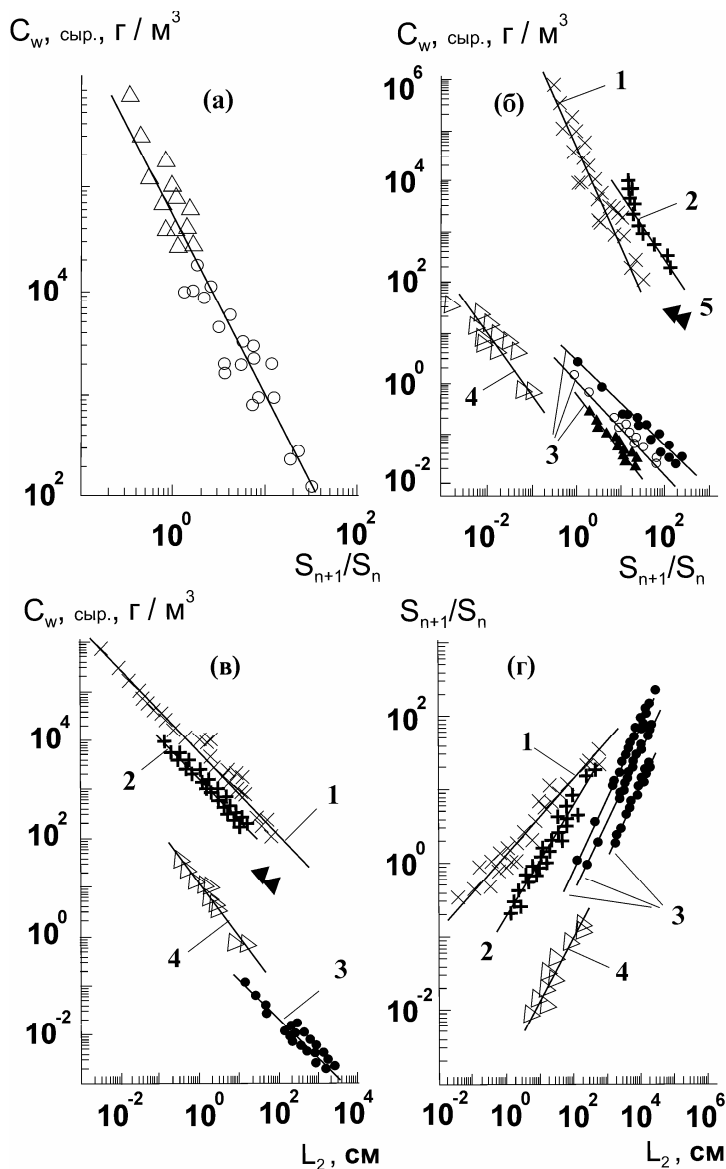


Рис. 7.14. Соотношение геометрических и экологических параметров биокосных фитосистем разного типа. **а:** соотношение концентрации фитомассы C_w и параметра S_{n+1}/S_n в кроновых пространствах слоевища морской водоросли фукуса (○) и аскофиллума (Δ); **б** – линия 1 – то же в слоевищах фукуса и аскофиллума (перенесено из сектора **а**), линия 2 – то же в полах ламинарии, 3 – то же на морском шельфе с сообществом фитопланктона на трех станциях (●, ○, Δ), 4 – в озерах с фитопланктоном (▷), 5 – то же в морских литоральных ваннах с донными макрофитами (▼); **в:** соотношение C_w и длины метаболического пути L_2 в тех же объектах, что в секторе **б**; **г:** – соотношение параметров S_{n+1}/S_n и L_2 у тех же объектов (обозначения те же). (Хайлов и др., 2001).

Очевидно, что чем больше объем занятого организмами пространства, тем больше живой массы в нём размещается. Но до какой степени в этом пространстве популяция может увеличивать свою численность и общую массу? Понятно, что су-

существует предел, т.е. такая концентрация живого вещества, при которой недостает пищи, даже если она с какой-то ограниченной скоростью поступает. Кроме того, при большой загушенности обитаемого пространства в нём накапливаются автотоксические продукты жизнедеятельности, что ухудшает условия жизни, снижает скорость роста и размножаемость. Этот механизм обратной связи – одно из проявлений известного принципа Ле-Шателье. Наличие в системе обратной связи приводит к тому, что в обитаемом пространстве устанавливается некоторая оптимальная концентрация живого вещества. Вследствие этого между объемом обитаемого пространства и значением C_w устанавливается закономерное соотношение (оно уже не раз демонстрировалась на графиках в предыдущих лекциях). Аналогичная связь существует между C_w и длиной метаболического пути (рис. 7.14 в). Точное соответствие между C_w и L_2 достигается при участии безразмерного геометрического параметра S_{n+1}/S . Как следует из рис. 7.14 з, во всех экологических объектах, представленных на рис. 7.14, два геометрических параметра – S_{n+1}/S и L_2 изменяются одновременно, но независимо один от другого (как и было показано на рис. 7.13 в нижней его части).

* * *

Трофодинамику в водных и наземных экосистемах экологи стали изучать, начиная с наиболее очевидного, важного, захватывающего воображение и доступно исследователям типа связей и отношений между организмами – с поедания одних другими или поедания остатков организмов детритофагами. Описание этих процессов не требовало оценки *линейных расстояний* переноса массы, поскольку речь шла не о переносе живой массы (в её физическом смысле), а лишь о движении энергии (калорий), связанной в органическом веществе живых тел. Не изучая линейный перенос масс вещества экологи не нуждались в измерении или расчете геометрических параметров экосистем и конкретных конфигураций живых и косных компонент. По той же причине для изучения трофодинамики в цепях “жищник-жертва” достаточно было классической версии окружающей среды, и выявления дискретных обитаемых пространств не требовалось.

Напротив, изучение молекулярных потоков требует и даёт возможность оценки линейных расстояний массопереноса в дискретных обитаемых пространствах. Поскольку геометрические формы обитаемых пространств в косном и живом мире очень разнообразны, при расчете расстояний переноса веществ оказалось необходимым учитывать геометрическую конфигурацию в экосистемах. Простейший пример такого анализа был сделан в виде кусочно-линейной модели молекулярной пищевой цепи. При этом выявилась важная роль безразмерного параметра, отражающего соотношение питающей (в косной части экосистемы), и питаемой (в биоте) поверхностей. Продолжение темы в следующей лекции.

Лекция 7.4. Молекулярные связи и отношения в наземных сообществах

1. Тематика молекулярной экологии наземных сообществ
2. Разнообразие форм молекулярных сенсорных связей в сообществах
3. Почвоутомление и “биосфероутомление”

1. Тематика молекулярной экологии наземных сообществ

История экологической биохимии наземных экосистем началась, вероятно, с давнего наблюдения растениеводов: после многолетнего культивирования какого-либо одного вида растений на одном и том же поле внешний вид растений ухудшается, снижается скорость роста и урожай. Это явление в той или иной мере наблюдалось на самых разных сельскохозяйственных культурах и получило название “почвоутомления”. В XX этот феномен стали изучать как одно из следствий межорганизменного обмена веществ в фитоценозах*. Исследования показали, что в почве накапливаются токсические продукты бессменного обитания в одном и том же почвенном пространстве ограниченного объема (посевная площадь S , толщина корневого слоя h и геометрический объем в распоряжении растений $V = Sh$). Органические вещества в молекулярном состоянии в большом количестве поступают в объем (V) с остатками корней, опадающих листьев, стеблей и продуктов жизнедеятельности всей почвенной биоты. Часть отмирающей телесной массы разлагается и усваивается бактериями и почвенными грибами, а бактерии выделяют свои органические метаболиты, вредные, полезные растениям и нейтральные. Растения тоже прижизненно выделяют в почвенную воду, т.е. опять же в объем V , разные растворённые органические вещества. В результате, при многолетнем культивировании в обитаемом объеме почвы в свободном и сорбированном на почвенных частицах состоянии накапливается сложный набор химических, в том числе и заново синтезированных веществ. Некоторые из них, иногда сразу многие, токсичны для растений.

Допустим, имеется поле с пшеницей. Проведем некоторые ориентировочные экологические расчеты, имея в виду уже обсуждавшуюся кусочно-линейную модель метаболической ячейки (теперь почвенного объема) и соотношение поверхностей в ограниченном объеме земного пространства. Пусть средняя толщина корневого слоя равна 1 м, и $V = 1 \text{ м}^3$. Пусть живая масса растений на площади 1 м^2 равна 2 кг. Примерно такую же массу, 2 кг имеют корни растений. Величина удельной площади поверхности S/V корней пшеницы примерно $70 \text{ м}^2/\text{кг}$. Допустим, что при ежегодном отмирании корней пшеницы в почве остается (в границах нашего расчета) 1 кг мертвых тканей, которые за год примерно на 70 – 80% разрушаются, превращаясь в мелкие фрагменты. Величина S/V измельченных остатков корней на порядок величин больше, чем у живых корней, т.е. примерно $700 \text{ м}^2/\text{кг}$. Это значит, что в объеме 1 м^3 почвы площадь поверхности разлагающихся остатков растений равна 700 м^2 . Общая живая масса бактерий в почвах разного типа лежит в диапазоне 2 – 20 тонн на гектар

* В отечественной литературе об этом можно прочитать в работах (Гродзинский, 1981, 1982; Грюммер, 1957; Фитонциды ..., 1981).

(Гиляров, Криволуцкий, 1985, с. 49), т.е. $0.2 - 2 \text{ г/м}^2$. При весьма приблизительном среднем значении S/V бактерий $7000 \text{ м}^2/\text{кг}$, общая площадь живой поверхности бактерий в 1 м^3 почвенного слоя у пшеницы равна $1400 - 14000 \text{ м}^2$. Как и измельченные корневые остатки, живая поверхность бактерий потенциально может выделять молекулярные продукты своей жизнедеятельности в почвенный раствор.

Обратим внимание на экологически важное соотношение активных поверхностей – выделяющей органические молекулы поверхности живых растений ($S_1 = 70 \text{ м}^2$), поверхности корневой дисперсии ($S_2 = 700 \text{ м}^2$) и живой поверхности бактерий ($S_3 = 7700 \text{ м}^2$: берем среднее из двух значений: 1400 и 14000). Безразмерные соотношения метаболических поверхностей в системе почвенных поверхностей таковы: $S_1/S_3 = 0.009$ и $S_2/S_3 = 0.09$. Огромная площадь поверхности разлагающихся органических частиц, с одной стороны, и почвенных бактерий другой стороны, обеспечивает всех почвенных обитателей богатым набором постоянно поступающих питательных веществ, минеральных и органических. Обладая (по закону: $\mu_w = a W^b$) самым интенсивным обменом веществ, бактерии обеспечивают в каждом локальном объеме V (и в почве в целом) мощный полузамкнутый обмен веществ*. Населенный бесчисленными микроорганизмами и мелкими животными, пронизанный корнями растений и увлажненный слой почвы (биоценозную систему) можно без преувеличения назвать "кипящим метаболическим котлом". Своими живыми корнями растения извлекают из него необходимые им минеральные вещества и органические стимуляторы роста. Вот почему почвы *родят*. Нарушение естественных метаболических связей между обитателями почвенной системы создает ситуацию, называемую "почвоутомлением".

Если бы биоценозная система "растения в почве" (биогеоценоз) не была открытой, то не просто "почвоутомление" в ней, а её полное самоотравление наступило бы быстро. Однако система открыта, прежде всего, по воде и воздуху. Почва периодически промывается и продувается, что способствует выветриванию и вымыванию части молекулярных метаболитов. Однако, при бессменной культуре сельскохозяйственных растений почвоутомление, как правило, происходит. Агрономический выход из ситуации почвоутомления был найден: необходимо оставить поле "под паром" (год-другой ничем не засеивать, дав токсичным метаболитам разложиться), а затем засеять поле другой культурой. Так в растениеводстве появилась технология "севооборота". Феномен почвоутомления дал повод к исследованию взаимного химического и взаимного биохимического влияния растений друг на друга в условиях совместного обитания в общем жизненном пространстве ограниченного объема. Это касается как природных сообществ, так и разных растениеводческих комбинаций растений. В центре феномена почвоутомления оказались молекулярные связи между растениями, совместно обитающими на общей территории. Часть этих молекулярных связей и отношений, обязанных только растениям, стали называть "аллелопатией". Это одна из целого ряда специализированных отраслей биологии, посвященных отдельным типам метаболических явлений в экологических объектах.

2. Разнообразие форм молекулярных сенсорных связей в сообществах

Экологический метаболизм в сообществах построен на связях и отношениях в основном трофических. Однако, обширная группа веществ, прижизненно выделяемых организмами во внешнюю среду, трофической ценности для других организмов не представляют уже потому, что выделяются в очень малых количествах и для узко

*Вопросы замкнутости в экосистемах обсуждаются в лекции 7.1.

специфических целей – предать соседям по сообществу важную *информацию*. Выделяемые количества сенсорных метаболитов очень малы, но велика их физиологическая активность при ничтожно малых концентрациях в среде обитания.

Поясним это примерами из жизни насекомых. Отношения между самцами и самками требуют участия веществ, называемых *феромонами*. Это обширная группа разных органических соединений; каждое оказывает узко специализированное действие. Известны феромоны извещающие самца или самку о присутствии в некотором отдалении особей противоположного пола. Известны “призывные” феромоны, способствующие сближению половых партнеров – отдельно вещества самцов и вещества самок. Есть феромоны, предотвращающие подлет избыточных самцов и т.д. Сообщалось, что из 500 000 бабочек тутового шелкопряда было выделено всего 12 мг феромона – бомбикола. Его действие проявляется при ничтожно малой концентрации в среде – 10^{-12} мкг/см³ (Остроумов, 1986). Другой феромон из той же группы действует при концентрации 10^{-14} мкг/см³. Такие действующие концентрации типичны для большинства феромонов.

В отношениях между обитателями наземных сообществ используется огромное разнообразие биологически активных веществ, в том числе фитонцидов, действующих также при очень малых концентрациях в среде (Фитонциды, 1981). Среди множества специализированных веществ высших растений известны две большие группы – привлекающие и отталкивающие, отвращающие соседей. Некоторые вещества выполняют две разные функции. Выделяемые растениями в почву растворимые органические метаболиты могут информировать нежелательных поселенцев предотвращая их поселение в данном ценозе. Концентрации таких веществ в теле лежат в широком диапазоне, но они на порядки величин меньше, чем содержание феромонов в теле животных. Понятно, что распространение узко специализированных запахов, предназначенных для восприятия столь же специализированными химическими рецепторами половых партнеров, не идет ни в какое сравнение с переносом больших масс вещества, что требует выполнения значительной работы.

В растительных сообществах всегда очень важны отношения и связи между растениями и насекомыми-опылителями. В них участвуют вещества одновременно и пахучие (аттрактанты – информаторы), и трофически полезные опыляющим насекомым. Речь идет о веществах, входящих в состав цветочной пыльцы, нектара, растительных восков. Типичное содержание белка в пыльце составляет 16 – 30%, имеется до 15% легко усвояемых сахаров; жиров – 4 – 12%. Нектар ценен опыляющим насекомым, прежде всего высоким содержанием сахаров (17 – 80% по массе) и аминокислот, набор которых практически полон. По некоторым подсчетам, бабочке достаточно всего 12 – 25 результативных подлетов к цветку, чтобы обеспечить себе суточную потребность в азоте.

Понятно, что такие метаболические связи следует относить не столько к сфере информационно-регуляторных отношений, сколько к сфере пищевой трофодинамики. Сбор нектара – это в полном смысле слова перенос пищевой массы на значительные расстояния. Насекомые затрачивают при этом свою энергию, тогда как действие сигнальных веществ таких затрат не требует.

Для сравнения с наземной средой приведем некоторые сведения о составе фонда разных молекулярно растворенных веществ, в том числе метаболитов. Сообщим также их характерные концентрации в природных водах. В океанских, морских, озерных водах в растворенном состоянии обнаружены представители всех основных классов биоорганических веществ, начиная от низкомолекулярных (моносахара, низшие органические кислоты, аминокислоты и др.) и до высокомолекулярных и частично гидролизированных белков и нуклеиновых кислот. Концентрации *растворенных органических веществ* (РОВ) в природных водах в целом сравнительно малы, но

различаются в диапазоне нескольких порядков величин. Концентрация РОВ в верхнем, наиболее обитаемом, стометровом слое вод Черного моря составляет в среднем 2 – 4 мг С/л (Скопинцев, Тимофеева, 1960). В глубинной океанической толще она снижается до десятых долей миллиграмма в литре. Сумма трофически ценных веществ составляет десятую или несколько сотых долей от общего углерода РОВ. В прибрежных морских экосистемах, но не в скоплениях донных растений или животных, средняя концентрация РОВ лежит в диапазоне 4 – 6 мг С/л, а доля трофически ценных веществ значительно больше, чем в открытых водах. Наконец, непосредственно в воде, которую можно считать внутренней средой прибрежных сообществ, общая концентрация РОВ достигает 10 – 15 мг С/л, в отдельных случаях значительно больше (Биохимическая трофодинамика, ... 1974).

3. Почвоутомление и “биосфероутомление”

Резюмируя изложенное выше, можно сказать, что в наземных и водных сообществах сложные сети молекулярных трофических и сенсорных связей и отношений между организмами соединяются с трофическими сетями типа хищник-жертва. В результате этого во внутренней среде экосистем при участии всех их обитателей формируется межорганизменный обмен веществ с множеством регуляторных механизмов. Добавим к этому, что **феномен почвоутомления – это наглядный аналог глобальной ситуации, которая сложилась в обитаемой области Земли в результате антропогенной перестройки, нарушения естественных связей и отношений между людьми и всеми другими группами обитателей биосферы.** По аналогии с почвоутомлением “экологический кризис” можно было бы назвать “биосфероутомлением”, но лучше этого не делать. Достаточно понять лишь смысл такого сравнения.

Лекция 7.5. Косные и живые тела в потоках воды и воздуха

1. Происхождение и самоорганизация потоков в биосфере
2. Динамические характеристики молекулярного переноса веществ
3. Молекулярный перенос между телом и обтекающим его потоком воды или воздуха

1. Происхождение и самоорганизация потоков в биосфере

Современная наука рассматривает существование и эволюцию Земли и жизни на ней как самоорганизацию потоков вещества, энергии и информации в земном пространстве. Происхождение потоков на Земле многоступенчато. Одни потоки порождают другие, исходное разнообразие (информация) инициирует другие формы разнообразия. Самые мощные энергетические и информационные потоки современная Земля получают от Солнца. Энергетический поток Солнца разнообразен по спектру волновых частот. Информация заключена также в линейной упорядоченности потока фотонов. Солнечная энергия и упорядоченность (негэнтропия), поступая на поверхность земли, “потребляются” ею, трансформируясь, прежде всего в энергию и упорядоченность водных (океанических, морских, озерных) и атмосферных течений. Физические течения в атмосфере и гидросфере взаимодействуют между собой.

То же происходит и в сфере жизни. Поступая в растения, солнечная энергия и информация луча инициируют, зарождают биологические структуры и питают дальнейшую самоорганизацию жизни в форме организмов. “Спектр” форм организмов и их внутренних структур так же разнообразен, как солнечный спектр разнообразен по волновым частотам. По разнообразию ему подобен спектр водных и воздушных вихрей, от микроскопических до глобальных. На всех уровнях организации, чем меньше размер структуры, тем больше заключенная в ней энергия. Плотность энергии, т.е. “энергетическая насыщенность” коротких волн на порядки величин больше, чем волн длинных. То же наблюдается в вихрях воды и воздуха и в живых телах (в наших обозначениях по динамике живой массы, это μ_w). Вот почему в этих лекциях мы нередко говорим, что одно разнообразие, предшествующее, с определенным фильтром порождается “отпечатывается” (матрицируется) на другом, последующем, уровне организации природы и жизни в ней.

Обмен веществ в примитивных бактериях – это микроскопические кольцевые потоки (вихри), а обмен веществ биосфере – биогеохимические круговороты. Когда метаболические “вихри” в бактериальных клетках складываются из разных биохимических реакций, говорят, что происходит биохимическая и физиологическая специализация бактерий. Аналогичная вихревая динамика реализуется в биосфере (лекции 7.1). По-разному специализированные виды бактерий и других организмов соединяются на основе взаимного трофического дополнения, обмена веществ в экосистемах. Взаимосвязи разных экосистем слагают упорядоченность, организованность биосферы.

Кроме естественного глобального метаболизма в современной биосфере действует мощнейший **несистемный, неестественный** “технологический метаболизм”.

Природные и технологические процессы различаются радикально. Естественный глобальный метаболизм органически привязан к экосистемам, а технологический обмен веществ руками и орудиями людей проникает в недра Земли, выносит на поверхность массы косного вещества и извлекает из них самое ценное, в том числе связанную в веществах энергию. Физические и химические отходы вываливаются на поверхность Земли. Многие антропогенные отходы разлагаются до молекулярно состояния. После этого они вливаются в природные потоки, поступая с ними во все живые тела включая людей. Два эти типа обмена веществ благоприятно соединяются лишь в отдельных точках метаболических путей. Однако, огромное разнообразие антропогенных веществ с потоками природных веществ конфликтует. Их метаболическая несовместимость будет сохраняться до тех пор, пока антропогенная деятельность человечества не приблизится к нормам биосферы. Но для этого структурно-функциональная организация биосферы должна быть людьми достаточно подробно изучена, а это даже не планируется. В этом состоит едва ли не главный просчет человечества, его науки и образования.

Движение потоков воды и воздуха, законы обтекания ими физических тел и организмов изучают две близко родственные науки – гидродинамика и аэродинамика. Физическое обтекание тесно связано с химическим обменом между телом и движущейся средой. В какой мере, различны и в какой подобны законы физико-химического взаимодействия косных и живых тел биосферы и биогидросферы?

В лекции 7.3 обсуждалась кусочно-линейная модель переноса в водных системах молекулярно растворенных веществ. Свойства любого пространства как физической категории (а для организмов она еще и экологическая категория) определяются в первую очередь его объемом и другими физико-геометрическими характеристиками. В лекции 7.3 речь шла об экологической важности безразмерного соотношения двух площадей поверхности – молекулярных входов и выходов ($K_{ss} = S_i/S_j$). Соотношение этих площадей в экосистемах очень динамично. Перейдем к некоторым характеристикам молекулярных потоков через различные биологически и экологические поверхности.

2. Динамические характеристики молекулярного переноса веществ

В лекции 7.3 обсуждалась кусочно-линейная модель переноса молекул путём диффузии (в неподвижной воде). Понятно, что как в организме, так и в экосистеме, в одном направлении движутся пищевые вещества, а в обратном – выделяемые наружу метаболиты организмов. Пусть через поверхность кубической высеки из водоёма в её объём поступила масса W углерода в составе CO_2 . В таком случае *плотность* потока углерода на единицу поверхности зеркала (нагрузка на поверхность) равна: dW/S_{n+1} . Вычислим *линейную удельную скорость* переноса массы W через единицу поверхности “зеркала” условного водоёма:

$dW/(S_{n+1} dt)$, где dW – масса, перемещённая за время dt , S_{n+1} – площадь поверхности входа в экосистему. Аналогичным образом рассчитывается скорость диффузионного переноса массы на других участках пути (схему ячейки смотри на рис. 7.13 в лекции 7.3).

Для каждого участка можно вычислить *интенсивность переноса вещества* W на единицу объема куба, V_{n+1} . На первом участке это: $\mu_{v1} = dW/(V_{n+1} dt)$, на втором и третьем аналогично: μ_{v2} и μ_{v3} . Для всех участков может быть вычислена также *линейная плотность переноса* вещества (его интенсивность, удельная скорость), в

расчете на единицу длины пути (здесь L_1 – длина метаболического пути)* Например: $\mu_{L1} = dW/L_1 t$ (и соответственно μ_{L2} , μ_{L3} и $\mu_{L\Sigma}$).

Диффузионный перенос молекул в определенном направлении начинается с того, что непосредственно вблизи живой поверхности концентрация молекул некоторого вещества снижается и, начинается её силовое восполнение за счёт притока из окружающей среды. Необходимый энергетический *импульс* движению молекул дает организм; он работает как “метаболический насос”. Он затрачивает свою энергию на перенос пищевых молекул сначала из толщи воды к внешней поверхности тела, затем через мембраны поверхностного слоя клеток, затем на транспорт во все точки тела. Аналогичную работу совершает организм и при выделении в окружающую среду продуктов жизнедеятельности. Чем интенсивнее потребляется пища, тем большая мощность насоса требуется.

Напомним, как сказанное выше выражается в терминах физики: мощность потока вещества равна: $P = A/t$, где A – механическая работа, t – время. $A = FL$, где F – действующая сила и L – длина пройденного пути. В свою очередь, сила, т.е. причина перемещения массы равна: $F = ma$, где m – масса (в нашем случае $m = W$) и “ a ” – ускорение движения, требующее соответствующего *импульса жизни*. Как в организме, так и в экосистеме, работа должна быть пропорциональна длине пройденного веществом пути. Напомним, что участок молекулярного пути от всех точек в геометрическом объёме (V_{n+1}) экосистемы ко всем точкам на внешней поверхности организма равен: $L_2 = V_{n+1}/S$. Эта величина в наибольшей мере отражает работу по переносу веществ через среду обитания. От неё зависит, прежде всего, плотность потока вещества, поступающего в организм, на единицу площади его поверхности S .

3. Молекулярный перенос между телом и обтекающим его потоком воды или воздуха

На рис. 7.15 показано как в потоках воды и воздуха изменяется внешний вид растений и животных. “Включение” этого важного фактора добавляет исследователю целый ряд переменных, прежде физических, например, вязкость среды. Вязкость воды и воздуха различается на несколько порядков, причём в обоих случаях она зависит от температуры. Все твердые тела – сами организмы, дно водоёмов, обтекаются потоками и оказывают движению воды определённое сопротивление. Непосредственно вблизи дна, разных стенок, вдоль поверхности неподвижных организмов скорость потока понижена и увеличивается по мере отдаления от стенок, поверхностей. При обтекании физических и биологических тел водой образуются завихрения, турбулентные вихри разного масштаба, от незримых, до легко наблюдаемых при добавлении в воду ярких красителей.

* Смысл понятия “линейная плотность потока” можно пояснить следующим сравнением. Представим себе поток пассажиров и грузов в железнодорожных составах, идущих из Киева в Севастополь и обратно. На железнодорожной линии составы могут располагаться с разной “линейной плотностью”. Она может быть 0,5 состава на 100 км, 1 состав, 5 составов и т. п. Понятно, что чем больше линейная плотность потока людей или грузов на железной дороге в Украине (как и молекул на пищевом пути в морской экосистеме), тем мощнее поток вещества и тем большая работа производится потоком, а это требует затрат энергии. Таков же и смысл величины $\mu_L = dW/Lt$ в экологическом контексте.



Рис. 7.15. Донные организмы, обитающие в местах быстрых и нерегулярных движений воды: а – *Nereocystis* – крупное растение с ламинарными лентами и турбулярным стволом, б – слоевище ламинарии с волнистым краем, с – сильно расчлененная водоросль с ветвями цилиндрического сечения; d – губка; e – *Leptogorgia* – гибкий разветвленный коралл; f – *Gorgonia* – мягкий планарный коралл. Из (Vogel, 1981).

Изучать всё это в рамках экологии нет большой необходимости. Часть важных для эколога вопросов можно обсудить на примере физико-химических моделей и специально “под них” задуманных биологических наблюдений, сопровождаемых не очень сложными измерениями. Откажемся на время от разнообразия форм реальных косных и живых тел. Возьмём тело идеальной формы и простого химического состава, состоящее из медленно растворимого в воде вещества. Пусть это будет гладкий гипсовый (состоящий из $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) шарик. Будем изучать как “ведет себя” такой шарик, неподвижно закрепленный в потоке воды. Рассматривать “поведение” шарика можно с физической и химической точек зрения. Как физики, мы увидели бы такую картину (рис. 7.16 из книги: Vogel, 1981, с. 74).

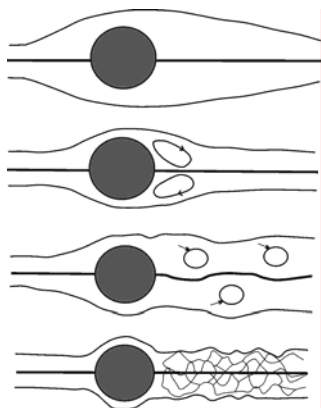


Рис. 7.16. Обтекание водой шарика. Первый ряд: отметим отсутствие вихрей при очень низкой значении $Re < 10$; Второй ряд: при условии, когда $10 < Re < 40$, прикрепившиеся вихри; Третий ряд: $40 < Re < 200\,000$, не-Кармановское движение; Четвертый ряд: $Re > 200\,000$, турбулентный поток. Из (Vogel, 1981).

Ту же систему “гипсовый шарик в потоке воды” химики видят иначе. Им важно, что в потоке воды шарик растворяется тем быстрее, чем быстрее течет вода,

чем выше её температура (ниже вязкость) и меньше диаметр шарика. Понижим растворимость гипса, смешав его с полимерным клеем (ПВА). Учтём также, что в природе имеется множество однородных тел разного размера. Изготовим поэтому серию шариков разного диаметра (D). По диаметру рассчитаем индивидуальный объём (V) каждого шарика, площадь его внешней поверхности (S) и индивидуальную массу (W), или просто каждый шарик взвесим. Укрепим шарики в потоке воды, соблюдая необходимые гидрофизические требования к проведению эксперимента. Зададим потоку определённую объемную скорость (V/t) и включим поток на время t. По окончании опыта высушим шарики до постоянного веса и по разности начальной и конечной массы каждого шарика рассчитаем количество растворившегося за время t гипса (dW/t). Разделив скорость размывания шариков на их среднюю за интервал t массу, получим интенсивность размывания гипса при данной скорости потока воды: $\mu = dW/tW$.

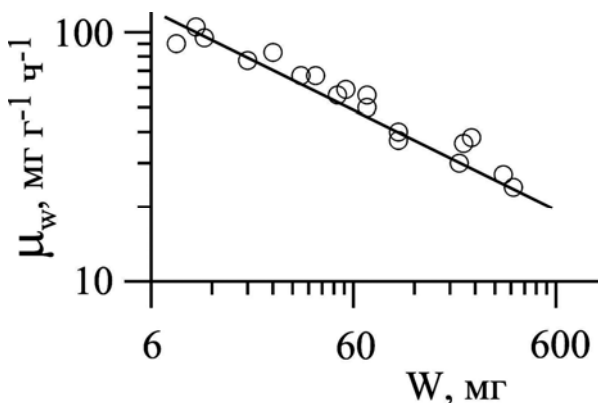


Рис. 7.17. Соотношение между индивидуальной массой шариков (W) и интенсивностью растворения гипса (μ_w).

На рис. 7.17 показано соотношение между индивидуальной массой шариков и интенсивностью растворения гипса. Как видим, μ_w гипса закономерно снижается с увеличением массы, W, шариков. Соответственно для скорости и интенсивности растворения гипсового слоя запишем:

$$dW/t = aW^b \tag{1}$$

и

$$\mu_w = aW^{-b} \tag{2}$$

Понятно, что энергия, необходимая для отрыва молекул гипса (как и любого вещества) с поверхности косного тела, находящегося в потоке воды или воздуха, поступает из движущегося потока. Производимая потоком воды химическая работа обеспечивает сольватацию и отрыв молекул от поверхности обтекаемого тела. Иное дело, когда поток воды обтекает тела живых, но закрепившихся на одном месте организмов, например, крупных моллюсков на подводных валунах, или мелких моллюсков, обитающих на постоянно омываемых водой слоевищах донных макрофитов.

Выделение веществ с поверхности живых тел может быть как пассивным, физико-химическим (растворение избыточных слизистых веществ или отмерших участков тканей), так и активным (выделение автотоксических метаболитов, например, выдыхаемой CO₂ или балластных органических веществ). Для переноса веществ через живые мембраны, при поглощении растворенных веществ из воды и при их активном транспорте в среду, организмы затрачивают собственную энергию. Но со-

блюдается ли в случае живых тел соотношение (2)? Или жизнь настолько специфична, что этот физический закон перекрывается биологическими различиями формы особей?

Обратимся к живым телам. Идеально круглых среди них нет. Изучать обмен веществ между организмом и обтекающей его водой можно на особях с разной внешней конфигурацией. Если закон (2) выполняется, то отклонение формы от идеальной сферической приведет к тому, на фоне закономерного тренда появится дисперсия, как в случае с гипсовыми шариками. Вопрос лишь в том, не окажется ли дисперсия настолько значительной, что нивелирует тренд, обесценит закон?

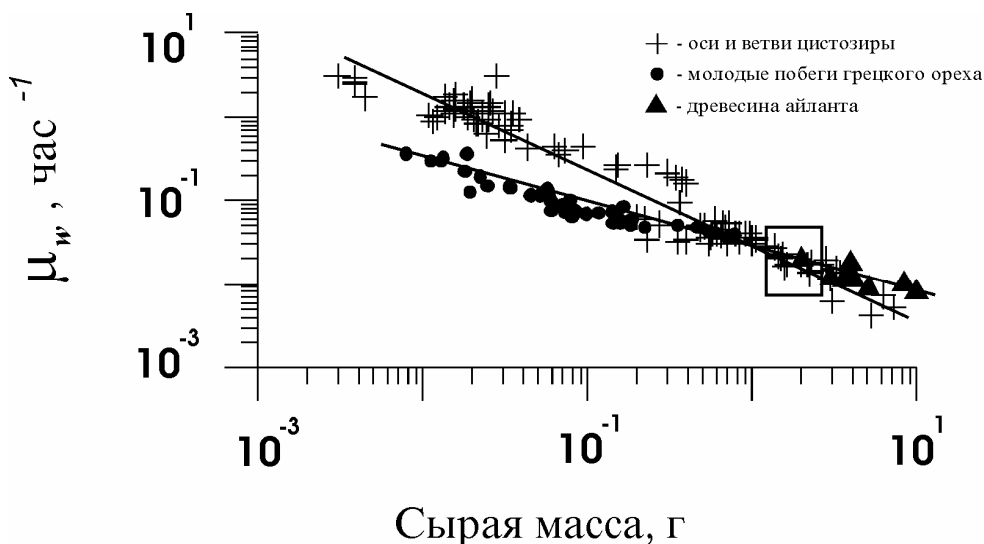


Рис. 7.18. Транспирация, а говоря шире, водообмен, - один из важнейших жизненных процессов у растений. На рисунке показано, что интенсивность водообмена (μ_w), как и интенсивность фотосинтеза, закономерно снижается по мере увеличения объема (V) тела, органа, ткани. Заметим, что у растений разных таксономических групп (молодые стебли грецкого ореха и взрослая древесина айланта) μ_w и V соотносятся между собой одинаковым образом (точки расположены вдоль одной линии). Примечательно также, что интенсивность водообмена у мелких водных растений значительно выше, чем у наземных.

Возьмем представителей наземной растительности и слоевища морских многоклеточных водорослей, обитающих на литорали. Всем растениям свойственна транспирация с выделением воды через внешние такни. Во время отливов морские водоросли на несколько часов оказываются на воздухе и естественным образом теряют воду. Форма органов растений очень разнообразна. Поместим отдельные фрагменты растений в слабый поток воздуха и проследим, как они теряют тканевую воду (понятно, что в предполагаемом стационарном состоянии скорость обмена веществ можно изучать как по входу, так и по выходу). Формализм, который был использован для описания связи между обтеканием и растворением косых тел, применим и к организмам. Поэтому все расчеты для системы “тело – движущихся воздух” примерно те же, что для системы “тело – движущаяся вода”.

На рис. 7.18 показано соотношение между μ по *тканевой* воде и массой тканевых высушек разной формы, взятых у разных растений (понятно, что все это в размерных рядах объектов). В выборку вошли мелкие, конической формы веточки цис-

тозиры, высечки из молодых ткани грецкого ореха (форма округлая) и цилиндрические высечки из одревесневших побегов айланта. Прежде всего, находим, что ткани растений, находящиеся в потоке воздуха, теряют тканевую воду по тому же закону, уравнение (2), по которому гипсовые шарики теряют свое вещество. Однако при этом выявляются различия, определяемые спецификой объектов – разные углы наклона регрессий, т.е. значения коэффициента b в уравнении (2).

Биологи давно знают, что закон (2) соблюдается как у растений, так у животных, у одноклеточных и многоклеточных организмов, в водной, и воздушной средах. Он действует по отношению к целым организмам со всем их частями тела, а также в рядах отдельных гомологичных органов, тканях и даже на клеточном уровне. Закон универсален, но везде наблюдаются частные отклонения от него.

Из всего этого следует, что *химическое* взаимодействие между движущейся водой и телами, живыми и косными безразлично, подчиняется физическому закону и так называемая “специфика” организмов в этом процессе не участвует. Иное дело, когда речь идет не о химическом растворении веществ с поверхности, а о биологической экскреции метаболитов. В этом случае ведущая роль в выделении вещества зависит от физиологического состояния организмов и от его внешней формы.

* * *

Сформулируем итог в методологической плоскости.

То, что последовательно происходит в науке, затем в таком же порядке переходит в учебники. В обоих случаях сначала появляются аксиоматические утверждения. Они принимают форму простейших уравнений и абстрактных моделей, предельно упрощающих сложное явление. Модель последовательно усложняется путем введения в нее переменных, которые существуют в реальности. Поскольку потоки веществ движутся в пространстве, длина пути веществ является необходимой характеристикой движения, будь это живое тело, или локальное помещение в котором оно находится (нора лисицы, скворечник, людская жилая комната, небольшой пруд, озеро или океан).

Лекция 7.6. Геометрические характеристики водных растений и адаптации к потоку воды.

1. Живые тела и их физико-геометрические параметры.
2. Биокосная система "растение-поток воды" и морфо-функциональные адаптации в ней.

В предшествующих лекциях уже отмечалось, что разнообразие признаков организмов лежит на поверхности, зримо, а подобие, "единство строения плана" скрыто под внешним видом. Людям гораздо важнее отличать курицу от собаки, карася или карпа от щуки или мурены, чем задумываться о степени сходства, подобия всех живых существ. Вот почему видовое разнообразие и его эволюционное происхождение до сих пор признаётся центральной проблемой биологии. В учебниках биологии разнообразие и изменчивость жизни демонстрируются от первой до последней страницы, а единство "общего плана строения", хорошо известное великим биологам прошлого, почти забыто.

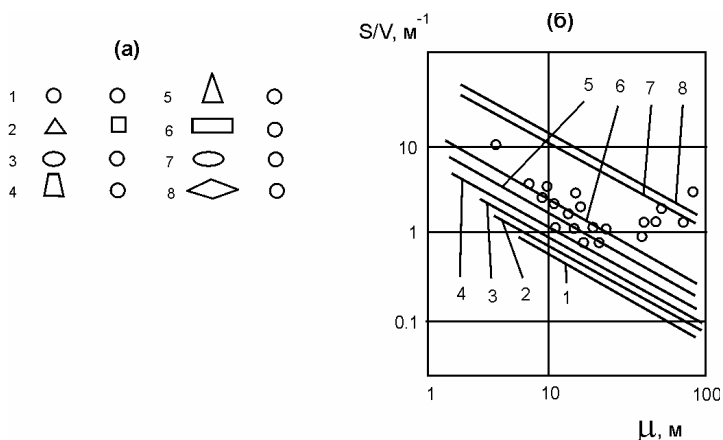


Рис. 7.19. Расчётная удельная поверхность (S/V) одноклеточных водорослей в зависимости от характерных линейных размеров одиночных клеток разной конфигурации (1 – 8). Светлые кружки на графике показывают реальные соотношения параметров клеток. (Рисунок взят из: Sourina, 1982)

Беглый взгляд на внешнее строение водорослей показывает большое разнообразие их телесных форм и внешних очертаний (рис. 7.19). Если стебли растений (рис. 7.20) похожи на цилиндры, все молодые побеги напоминают конусы (обычно круглые и широкие у основания, они суживаются к вершине), а арбузы круглые, то что же в этом интересного и важного для понимания жизни?

1. Живые тела и их физико-геометрические параметры.

В мире растений простые геометрические формы не случайны, а типичны. Три основные телесные формы органов растений близки к шару (плоды, корнеплоды,

семена), цилиндру (самые массовые структурные элементы – междоузлия) и конусу (побеги, истончающиеся от основания к верхушке). Форма шара, конуса и цилиндра типичны и для крон деревьев, т.е. обитаемых надтелесных пространств.

К сферическим телам (гипсовым шарикам в потоке воды) мы уже обращались, выяснив при этом важность геометрического параметра, выражающего соотношение между площадью внешней поверхности тела и его объёмом, S/V (и аналогично с массой тела S/W). Именно со значением S/V скоррелирована интенсивность обтекания тела, а соответственно, интенсивность его физико-химического взаимодействия с водой (обсуждали в лекции 7.5). Поскольку организмы растут, важно знать, как и почему при этом изменяется S/V тел.



Рис. 7.20. Схематическое изображение слоевищ водорослей разного внешнего строения:

а – слоевища с осевой структурой: 1 – *Sargassum miyabei*, 2 – *Dictyosiphon foeniculaceus*; б – слоевища с пластинчатой структурой: 3 – *Laminaria digitata*, 4 – *Alaria esculenta*, 5 – *Porphyra capensis*.

Физико-геометрические параметры шара известны: $S = 4\pi R^2$ и $W = 4/3\pi R^3$, где R – радиус шара. Примем ρ – удельный вес тела. Поскольку $R = \{3/4 \cdot (W/\pi\rho)\}^{1/3}$, получаем:

$$S/W = 3/\rho(4\pi R/3)^{1/3} \cdot 1/W^{1/3} = \{(3/\rho)^2 4\pi\}^{1/3} \cdot 1/W^{2/3}. \quad (1)$$

В общем виде и в сокращенной записи:

$$S/W = a W^{-b}. \quad (2)$$

И аналогичным образом (с учётом удельного веса ρ):

$$S/V = a \rho V^{-b}. \quad (3)$$

Значения S/V и S/W всех компактных изоморфных тел изменяются в размерных рядах согласно (2) и (3); различаются только значения коэффициентов. На рис. 7.19 показано расчётное соотношение между S/V и характерным параметром клеток, имеющих разную геометрическую форму (1 – 8).

Связь между S/V и интенсивностью фотосинтеза водорослей ранее уже обсуждалась на примере морских макрофитов. Интенсивность обмена веществ, в том числе фотосинтеза в расчёте на единицу массы (μ_w) скоррелирована, прежде всего, с массой тела:

$$\mu_w a = \{(3/\rho)^2 4\pi\}^{1/3} * W^{-1/3} = a W^{-0.33}. \tag{4}$$

Здесь a – масштабный коэффициент, смысл которого в данном случае можно пояснить так: это плотность потока вещества, проходящего через единицу площади поверхности живого тела (μ_s). При разных единицах измерения коэффициент a принимает разные значения.

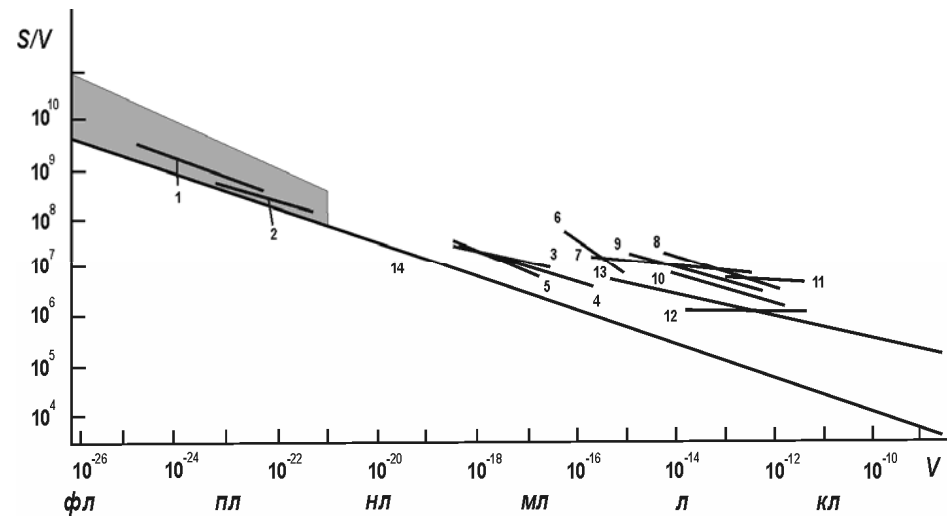


Рис. 7.21. Соотношение удельной поверхности (S/V , км^{-1}) и объема (V , км^3) у одноклеточных и многоклеточных водорослей
 1, 2 – осевые структуры первого-третьего порядков цистозир косматой; 3 – 5 – морские диатомовые; 6 – пилота; 7 – 11 – ламинария сахаристая из разных местообитаний Баренцева моря; 12 – ламинария цикориеподобная из Японского моря; 13 – высшие наземные растения (кустарники, деревья); 4 – соотношение S/V и V у тел сферической формы и многоклеточных водорослей. (по: Хайлов и др., 1992)

Из (4) следует, что

$$\mu_w = a (S/V)^{-0.77}. \tag{5}$$

Внешняя форма и общие очертания многоклеточных водорослей (рис. 7.20), как и у растений суши, весьма разнообразны. Однако, при всём внешнем разнообразии форм и очертаний, их морфология макрофитов сводится к комбинации цилиндров и шаров с разными значениями радиуса (r), и конусов с разной высотой (L) и радиусом основания.

Рассмотрим, как r и L участвуют в формировании наиболее важного морфологического параметра всех косных и живых тел, S/V .

Соотношение r и L для цилиндров описывается уравнением:

$$r = (r_0/L_0^\alpha) L^\alpha, \quad (6)$$

где r_0 и L_0 – средние значения радиуса и длины цилиндров (например, междоузлий растений) в их размерном ряду и α – коэффициент, отражающий соотношение r/L .

Если радиус междоузлий по мере их удлинения не меняется, то $\alpha = 0$. И напротив, чем больше α , тем по мере роста сильнее утолщается стебель (заметим, что после *точки морфологического перехода* стебель превращается в пластинку, которая утончается (см. ниже рис. 7.22 и пояснения к нему). Поскольку $S/V = 2/r$, после подстановки (6) получим, что $S/V = 2/(r_0/L_0^\alpha) L^\alpha$, откуда

$$L = \{1/\pi (r_0/L_0^\alpha)^2\}^{1/1+2\alpha} V^{1/1+2\alpha}. \quad (7)$$

Учитывая, что $S/V = 2/r$, подставим L в выражение для S/V и упростив промежуточный результат, получим уравнение (3), которое ранее было приведено для размерного ряда сферических тел в их размерном ряду (2).

Поскольку уравнение (3) соблюдается в размерных рядах как у одноклеточных, так и у многоклеточных водорослей, обе эти обширные группы растений в общей метрике (рис. 7.21) обобщаются одной регрессией (заштрихованная область слева соответствует графику на рис. 7.19 б).

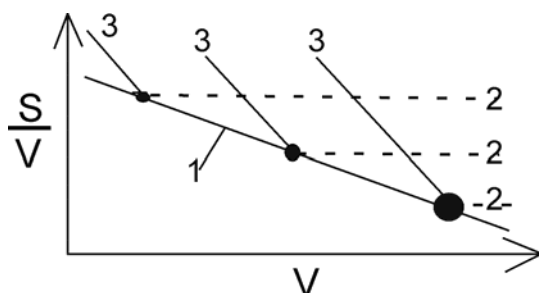


Рис. 7.22. Схема соотношений между объемом тела (V) и величиной его удельной поверхности (S/W). Пояснения в тексте. Четырными точками отмечены соотношения в для случаев, когда тело принимает форму шара. Остальные пояснения в тексте.

В наглядном виде участие сферических тел, цилиндров и пластин в морфологии слоевищ водорослей поясняет схема на рис. 7.22. Линия 1 показывает, как изменяется S/V в размерном ряду сферических тел (это воздушные пузыри свойственные многим видам макрофитов, а также рецептакулы овальной и круглой формы). Параллельные абсциссе линии 2 отражают случай, когда цилиндрические междоузлия вытягиваются, не меняя радиуса. Понятно, что верхняя из линий 3 соответствует тонким веточкам, а нижние более толстым. На каждой из линий 3 в направлении слева направо длина цилиндрических, стеблевых структур увеличивается (рост в длину и увеличение V). Линии с цифрой 3 отражают случаи, когда радиус цилиндров увеличивается, т.е. формируются пластины. Толщина пластин при этом уменьшается (листовые органы становятся всё тоньше). Наконец, линия 4 отражает случай быстрого увеличения радиуса структур (ширины листовых пластин). Точки морфологического перехода обозначены черными кружками на линии 1. В этих точках цилиндрические стебли принимают форму, наиболее близкую к шару, после чего возможно образование пластинчатых органов (начало линий 3 и 4).

Линии, показывающие соотношение S/V и V макрофитов, расположены на 1 – 2 порядка выше экстраполированной линии. Столь высокие (*при большой индивидуальной массе*) значения S/V макрофитов достигаются либо за счёт образования

широких, с малой толщиной листовых пластин, либо за счёт последовательного, в несколько шагов, ветвления цилиндрических стеблевых структур. Так формируются две наиболее типичные жизненные формы морских многоклеточных водорослей, показанные на рис. 7.20.

2. Биокосная система "растение-поток воды" и морфо-функциональные адаптации в ней.

Вернёмся теперь к уравнению (4). На рис. 7.23 показана скоррелированность значений S/V и интенсивности фотосинтеза разных видов морских макрофитов с разной формой слоевищ. Как следует из рисунка, тренд соответствует уравнению (5).

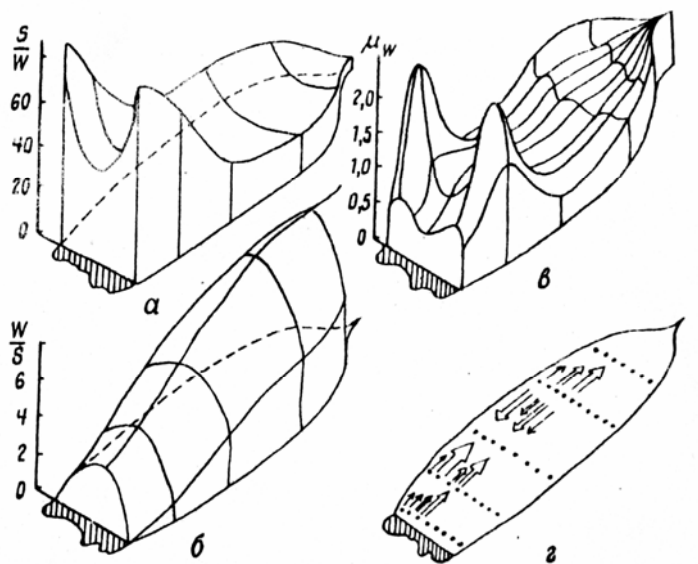


Рис. 7.23. Карты пространственного распределения по пластине ламинарии сахаристой параметров, связанных с продукцией:

а – удельная поверхность (S/W , $\text{мм}^2 \text{ мг}^{-1}$, сухой массы), б – удельная поверхностная плотность (W/S , $\text{мг (сухой массы) см}^{-2}$), в – интенсивность фотосинтеза (μ_w , $\text{мгС г}^{-1} \text{ ч}^{-1}$), г – схема транспорта радиоактивных ассимилятов вдоль пластины ламинарии. Точки на схеме – места расположения высечек для определения радиоактивности тканей; стрелки – направление переноса ассимилятов (величина стрелок пропорциональна скорости переноса).

Разные виды водорослей приспособлялись к разной скорости течения воды. Некоторым видам приходится формировать на своей поверхности мелкую складчатость, сколь возможно делая свою поверхность гладкой, легко обтекаемой (таковы слоевища ламинарий, растущие на мелководьях, где они постоянно омываются струями воды и подвергаются штормам). Напротив, ламинарии, растущие в бухтах, особенно на глубине нескольких метров, при слабом движении воды формируют на своей поверхности крупные складки, а на краях широких тонких слоевищ появляются крупные воланы. Эта морфо-функциональная адаптация позволяет крупным слоевищам сколь возможно (при прочих условиях) поддерживать свой обмен на доста-

точно высоком уровне и генерировать спорогенные ткани, которых гибкие молодые слоевища, растущие в мощных потоках воды, не имеют*.

Морфология слоевищ ламинарии отражает связь интенсивности обмена веществ с S/V также и другим образом. На рис. 7.23 показана топографическая карта листовой пластины взрослого слоевища ламинарии сахаристой. Карта показывает топографию по трём параметрам. Рис. 7.23 *а* отражает рельеф пластины по значениям S/V . Максимум приходится на истончённую верхушку пластины, тогда как в нижней половине пластины, ближе к ноге, располагаются толстые ткани с запасами органических веществ (на рельефе – понижение S/W). На тонких краях пластины удельная поверхность выше, чем в центре. Рис. 7.23 *б* передаёт рельеф пластины по величине W/S . Понятно, что этот профиль является зеркальным отображением профиля по S/W . На рис. 7.23 *в* показан рельеф пластины по интенсивности фотосинтеза, μ_w .** Как видно из рисунка, ткани верхушки, имея наивысшие значения S/W , обнаруживают невысокую интенсивность фотосинтеза. Максимум μ_w высокий и расположен чуть ниже верхушки; при низких значениях S/W в центральной части пластины интенсивность фотосинтеза минимальна. На рис. 7.23 *г* показана карта переноса продуктов фотосинтеза в направлении от верхушки пластины к её основанию.

* Подробнее в книге: Функциональная морфология морских многоклеточных водорослей (Хайлов и др., 1992. с. 126 – 131).

** Чтобы выявить трёхмерный рельеф пластины по интенсивности фотосинтеза, был использован радиоуглеродный метод. Живая пластина помещалась в раствор радиокарбоната. Затем из пластины по нескольким профилям, рядами были сделаны круглые высечки, определялась их радиоактивность и рассчитывалась интенсивность фотосинтеза.

Водоемы и водные экосистемы

Введение в тему

Напомним один важный факт из истории науки: теория двигателей внутреннего сгорания и кинетическая теория взрывов научно обосновывались при одном простом, но обязательном условии: объем пространства, в котором заключен газ, производящий полезную работу (объем цилиндра в автомобиле) должен быть изначально задан. Иначе давление в системе (в цилиндре) и его полезную работу невозможно вычислить. Кстати, теория, лежащая в основе современных вычислительных машин, при своем рождении называлась “теорией конечных автоматов”. Слово “конечный” в науке ключевое.

Условие конечности изучаемого объекта настолько мировой науке привычно, что редко упоминается, но всегда соблюдается. Биосфера и другие биокосные объекты состоят из своих, отмеренных и по тем же законам (обсуждались) надтелесных пространств – нор, гнезд, прудов, озер, почв с их богатым населением, муравейников, поселков, городов с людьми, домашними животными, крысами и голубями. Все эти пространства подобны бутылкам разной емкости; в магазине их и покупают с учетом объема. Иерархии объектов соответствует иерархия их внутренних сред, всех со своими границами (обсуждали подробно). Путать внутренние среды (содержимое) разных отсеков биосферы и игнорировать их размеры – значит дважды ошибаться.

Никто не спутает внутреннее содержимое бутылки с кефиром и флакона с чернилами. Но посмотрим как легко люди путают внутреннюю среду глобальных “бутылок” – Океана и Биосферы и внутреннюю среду собственной “бутылки” – личного дачного участка под Москвой или под Киевом.

Объясняем. Биосфера и дачный участок под Киевом имеют собственную внутреннюю среду. В биосфере она замкнута на 99.9999 %. В морях и больших озерах замкнутость их внутренней среды намного меньше, но им достаточна. От степени замкнутости внутренней среды обитаемых систем в большой мере зависит их динамическая устойчивость. Внутренняя среда дачного участка имеет множество локальных входов извне и выходов в окружающее пространство. С биогеохимической точки зрения, экосистема дачного участка – худая пластмассовая бутылка. Интуитивно это понимая, собственник дачи внутреннюю среду участка всячески старается сохранить. Один хозяин ставит забор как можно выше (биогеохимическая бессмыслица; забор – защита личных секретов). Другой хозяин сажает на участке деревья, свою среду с пользой замыкая. А как человечество поступает с Биосферой, Мировым океаном и с другими водоемами (со своей глобальной средой)? Валит в них все свои отходы.

Но это еще не все сказано. Канаву или выгребную яму биосферного масштаба людям не вырыть, Черное море не засыпать, а в масштабе разных локальных экосистем канав и ям можно наковырять сколько угодно (и ковыряем, не глядя). Геоморфология региональных экосистем уязвима. Из предшествующих лекций знаем, как морфология и химия Гео определяет морфологию и химию Био. По совокупности всех антропогенных воздействий экосистемы с их внутренней средой – самый ранимый тип природных объектов. В них живем, от них целиком зависим.

Лекция 8.1. Водные экосистемы: геоморфологическое разнообразие, и внутренняя среда

1. Экологическая системология
2. Геоморфологическое разнообразие водоемов. Средняя глубина и концентрация “живого вещества”
3. Концепция экологической ниши как локальной системы “организм-среда”.
4. Внешняя и внутренняя среды в биоэкологических объектах.

1. Экологическая системология

Понятие “система” использовалось в *Школе* многократно и его методологические функции разъяснялись постепенно. Из двух десятков разных определений выберем самое краткое: “система – множество элементов и связей между ними”. Элементы являются структурными частями системы, а связи – её функциональными проявлениями. Применительно к любому системному объекту уместно говорить о его структурно-функциональной упорядоченности, т.е. её *организованности*, а также о несводимости свойств системы к сумме свойств ее элементов, т.е. *эмергентности*. Любой системе свойственно разнообразие элементов и связей. *Чем больше внутреннее функциональное разнообразие в системе, тем выше ее организованность и тем больше у нее и эмергентных свойств и вероятных состояний.*

Частная системология имеет дело с объектами разного типа – вещественными и информационными, физическими, химическими, биологическими, техническими, социальными, экономическими, политическими и т.д. Понятие “система” служит семантической оболочкой для самых разных объектов, обладающих общими для организованных объектов (“системными”) свойствами. Понятие “экосистема” служит оболочкой для обширного ряда реальных биокосных (Гео-Био) объектов, внешне совершенно разных, но **в которых Гео предшествует Био, а Био на Гео селится и на протяжении всей жизни испытывает разностороннее управляющее воздействие своей подосновы-матрицы.**

В учебниках по экологии можно найти отличающиеся одну от другой формулировки экосистемы, из которых приведем самую простую, классическую (Одум, 1975, с. 11): “Сообщество и неживая среда функционируют совместно как экологическая система или *экосистема*”. Приходится, однако, признать, что это понятие до сих пор остается незавершенным, и вот почему: этот тип объектов задан как бесконечный ряд. Действительно, при том, что максимальный размер объекта в классе экосистем назван (это биосфера, размер которой в первом приближении известен), минимальный размер в экосистемном ряду однозначно исследователями не согласован. Вследствие этого граница между биологией и экологией до сих пор остаётся неопределенной, размытой. Размытость столь важной границы приводит к тому, что биологическое образование присваивает себе не только живые тела, но и объекты надтелесного типа – экосистемы и биосферу (они до сих пор стандартно включаются в учебный предмет под названием “Общая биология”; например, Кучеренко и др., 2000). С другой стороны, некоторые экологии (Горшков, 1995) называют “экосистемами” комплексные живые организмы, например, лишайники, которые, по сути, являются *телесными сообществами*.

В разных экологических учебниках в перечне локальных экосистем упоминаются также гниющие пни, животное население которых лишено высших трофических уровней. В таком случае небольшой гниющий осколок дерева со всем его сложным, хотя и примитивным, населением можно также считать экосистемой. То же относится и к древним (архейским) экосистемам, в которых сообщества организмов представлены только функционально разными группами бактерий. Их трофическое, разнообразие как раз и позволяет им создавать сложные сообщества, а соответственно и экосистемы. Бактериальная экосистема может помещаться в одном кубическом сантиметре почвы, или донного ила.

Экосистемы географического ранга имеют значительную занимаемую площадь и полночленную (включая и млекопитающих) пищевую цепь. Большая часть современных экосистем Земли включает в себя и людей в качестве пользователей и управляющих природными объектами для достижения своих целей. Люди являются мощными пользователями почти всех возобновляемых экосистемных ресурсов – воды, воздуха, пищевых организмов и т.д. Используя для строительных целей прибрежные отложения гравия и песка, разрушая механизмами плодородный слой почв люди искажают физическую природу и оптимальную для природы геометрическую конфигурацию естественных экосистем (важность геометрии обиталищ, в том числе необходимость оптимальной геоморфологии для жизни биоты экосистем неоднократно обсуждалась в предыдущих лекциях).

На используемых людьми территориях наибольшую хозяйственную ценность представляют почвенные экосистемы с природной растительностью и сельскохозяйственными культурами. По интенсивности обработки почвы и затратам труда и энергии интенсивное сельское хозяйство занимает одно из первых мест.

Огромную природную и прикладную ценность представляют экосистемы почвенного типа, занятые лесами. Доля природных лесов в общей растительности Земли неуклонно убывает. Это стало одним из наиболее опасных антропогенных нарушений в биосфере, ведущих, к множественным, в том числе климатическим, невзгодам. Почвенные экосистемы используются также для очистки хозяйственных сточных вод. Самые примитивные из них это так называемые “поля орошения”, давно уже вытесняемые более современными технологиями. Системы биологической очистки вод используют преимущественно гетеротрофную составляющую экосистем (бактерии, простейшие, черви и др.). Самый изучаемый и всемирно используемый тип региональных экосистем Земли – водоёмы (около 2/3 общей земной поверхности). Большая их часть имеет пищевые цепи, включающие беспозвоночных, рыб и водных животных в качестве основного хозяйственно ценного объекта.

2. Геоморфологическое разнообразие водоёмов. Средняя глубина и концентрация “живого вещества”

Один из главных смыслов *Школы* заключен в самом ее названии. Это проявляющаяся на всех уровнях организации жизни матричная роль Земли по отношению к Био и Социо. Земные матрицы несут в себе богатейшую и самую разную информацию, в том числе геоморфологическую.

Водоёмы с очевидностью копируют, *переносят в себя*, в свою собственную морфологию черты рельефа местности, на котором они располагаются. Рельеф занятой ложем водоёма и окрестной местности решающим образом управляет геоморфологией водоёмов, а соответственно и их водообменом, тепловым режимом, химией и жизнью в водной среде. Разное живое население предпочитает соответствующий своим размерам гранулометрический состав грунта и имеет специфические предпоч-

тения к геохимии грунтов и текущих вод. Состав и количество растительности на водосборной территории оказывает на водоём дополнительное и многостороннее влияние.

Глобальный обзор главных морских и континентальных водоёмов по их основным параметрам (площадь поверхности зеркала, объём воды, глубины) имеется в табличном приложении к Морскому атласу (1980). Основные геоморфологические параметры водоёмов среднего и ниже размера во множестве содержатся также в мировой гидроэкологической и гидробиологической литературе, в том числе в современном обзоре для гидробиологов (Китаев, 2007), а также отдельно по Украине (Паламарчук, Закорчевна, 2001). Гидроэкологическая научная литература особенно ценна в тех случаях, когда физическим и геометрическим данным по водоёмам сопутствуют численные гидрохимические и гидробиологические сведения. Нередко в публикациях сообщаются также сведения, о хозяйственном использовании водоемов. Однако, полнота сведений, а тем более их *системная полнота* по отдельным водоёмам почти никогда не достигается.

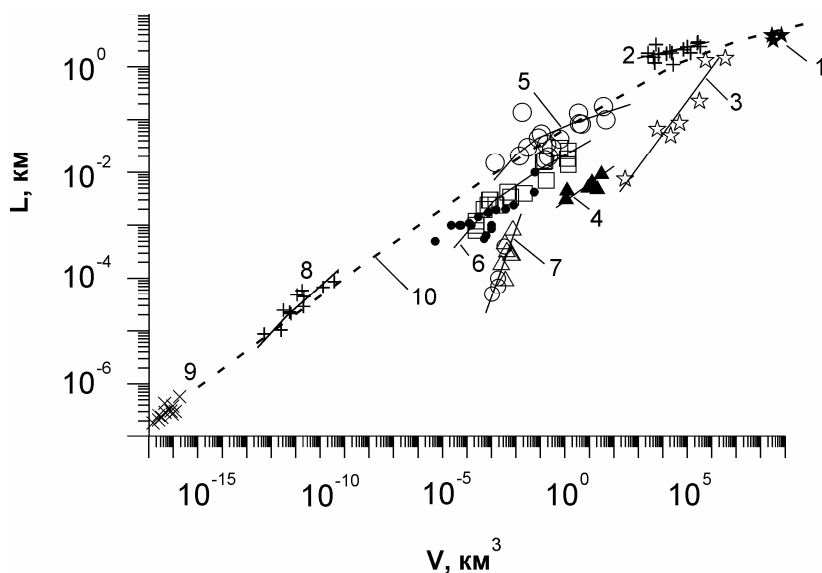


Рис. 8.1. Соотношение стационарного объема (V) и средней глубины (L) в водоёмах разного типа:

1 – Атлантический, Тихий, Северный ледовитый океаны, 2 – глубинные океанические впадины, 3 – моря, 4 – водохранилища Волжского каскада, 5 – заливы и бухты Баренцева моря на Кольском полуострове, 6 – озера Новой Зеландии (●), 7 – лиманы и небольшие солоноватые озера Одесской области (Δ), солоноватые озера Крыма (○), 8 – литоральные ванны на побережье Баренцева моря (+), 9 – слоевища морской многоклеточной водоросли ламинарии. 10 – обобщающая кривая.

Для изучения геоморфологии водоёмов их следует рассматривать и сравнивать в достаточно больших сериях, как и при изучении морфологии организмов. Так можно выявить и закономерные соотношения между разными параметрами водоёмов (тренды), и отклонения от них (дисперсию, отражающую воздействие на водоёмы разнообразных частных сил). Если геоморфология водоёмов рассматривается в границах какого то отдельно взятого региона, то тренды и дисперсия позволяют понять, какие характеристики рельефа сильнее, а какие слабее определяют свойства отдельных водоёмов в их изучаемой серии.

На рис. 8.1 показано соотношение объема (V) и глубины (L) в размерных рядах водоемов самого разного размера и типа. В выборку вошли Атлантический, Индийский и Тихий океаны, глубоководные океанические впадины, заливы и бухты Баренцева моря на Кольском полуострове, водохранилища волжского каскада, лиманы и озёра разной солёности в северо-западном причерноморье (Одесская область), а также природные миниводоемы – литоральные ванны на побережье Баренцева моря. В совокупности выборка охватывает 27 порядков величин по объёму водоёма и 8 порядков по глубине.

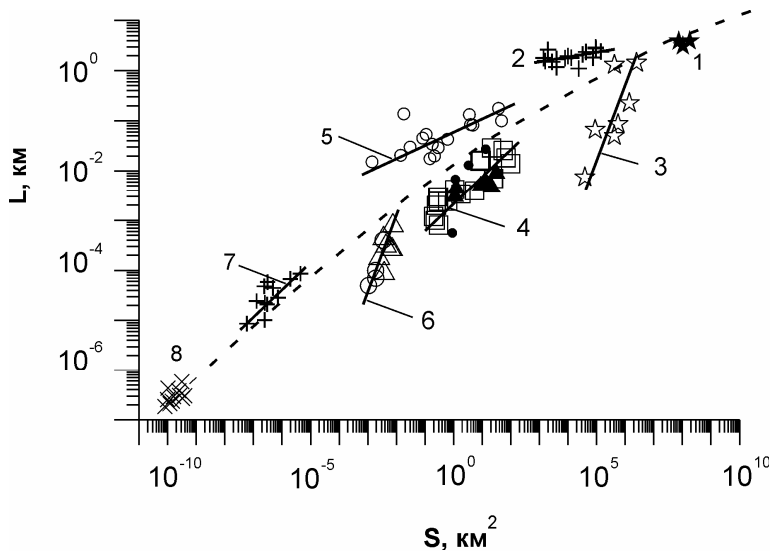


Рис. 8.2. Соотношение стационарного объема (V) и площади поверхности зеркала (S) в водоемах разного типа. Обозначения как на рис. 8.1, за исключением номеров линий.

Как следует из графика, все данные обобщаются трендом (штриховая линия) отражающим закономерные соотношения объема и глубины для фигур конусообразной формы с разной площадью основания и высотой-глубиной (L). Разные группы водоемов занимают в общей метрике своё особое положение, которое определяется значениями коэффициентов *a* и *b* в уравнении:

$$L = aV^b. \tag{1}$$

По той же выборке водоемов построен график (рис. 8.2), показывающий соотношение между площадью поверхности зеркала (S) водоема и его глубиной:

$$L = aS^b. \tag{2}$$

Как и на рис. 8.1, наблюдается общий тренд L по S, на фоне которого каждая группа водоемов имеет свое характерное положение в общей метрике, т.е. обнаруживает специфические особенности своей геоморфологии.

На обоих рисунках видно, что трендовая (штриховая) линия имеет некоторую кривизну, т.е., строго говоря, уравнениям (1) и (2) не соответствует. Действительно, на более широких выборках по каждому типу объектов в двойных логарифмических координатах выявляется существенная нелинейность.

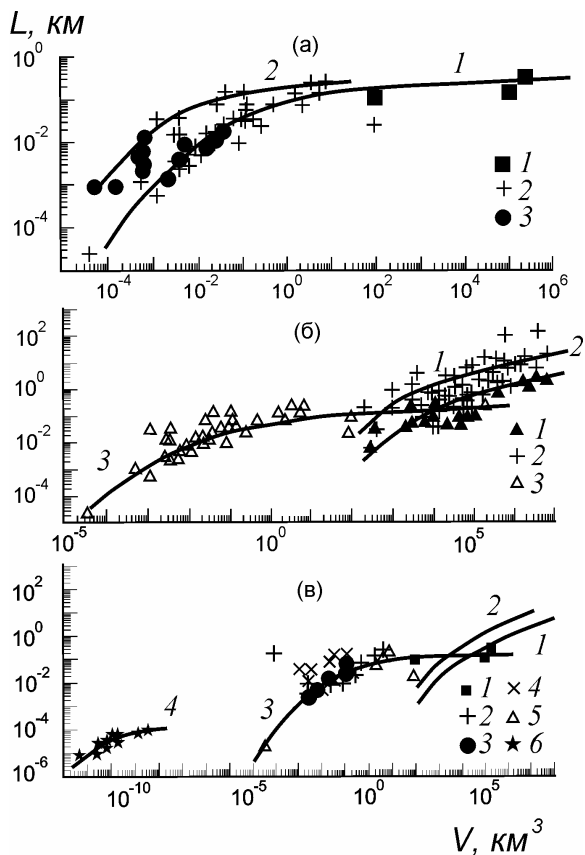


Рис. 8.3. Соотношение объема водного пространства V и глубины акватории L в водоёмах разного типа и в их геоморфологических зонах.

(а) – В глубинных зонах шельфа Баренцева моря (1), в губах и бухтах Кольского полуострова и в их глубинных зонах (2), в бухтах и их глубинных зонах Чёрного моря (3).

(б) – В морях Атлантического и Северного ледовитого океанов (1), в разнотлубинных зонах шельфа морей Атлантического океана (2), в Кольском заливе, его бухтах и в разнотлубинных зонах (3).

(в) – В глубинных зонах шельфа Баренцева моря, в губах и бухтах Кольского полуострова и в их глубинных зонах, в бухтах и зонах Чёрного моря (1, 2, 3 как на рис. 8.3. а); в основных глубинных зонах Кольского залива (4); в губе Ярнышная Кольского полуострова и в ее разнотлубинных зонах (5); в литоральных ваннах с морскими макрофитами на побережье Кольского полуострова (6). Линия 1 и 2 перенесены под теми же номерами с рис. 8.3. б.

На рис. 8.3 а показано соотношение V и L в глубинных зонах Баренцева моря, в его бухтах и губах на Кольском полуострове, а также в бухтах и разнотлубинных зонах Черного моря. На рис. 8.3 б соотношение V и L показано на примере морей Атлантического и Северного ледовитого океанов, в разнотлубинных зонах Атлантики, в Кольском заливе и его бухтах. На рис. 8.3 в водоёмы сравниваются в широком диапазоне, примерно 30 порядков величин по V . Это позволяет выявить три дискретные группы водоёмов с собственными геоморфологическими трендами по соотношению V и L .

Как уже говорилось, геоморфология водного ложа является информационной матрицей, которая передается в морфологию водоема, В таких случаях говорят, что водоем содержит *инринт* рельефа местности. Геоморфологическая конфигурация водоема, рельеф его дна, химический состав воды и другие характеристики водоема, в свою очередь, передаются в его биоту, прежде всего в соотношения основных групп организмов. Между объемом водоема и максимальным размером его обитателей существует закономерная связь. От типичных для данного водоема размеров организмов зависит биологический состав пищевой цепи. Например, в мелководных литоральных ваннах вблизи птичьих базаров вода, богатая биогенными элементами и растворённым органическим веществом, поддерживает обильные заросли быстрорастущих зеленых водорослей. Тонко рассеченные водоросли и мелкие ярко красные

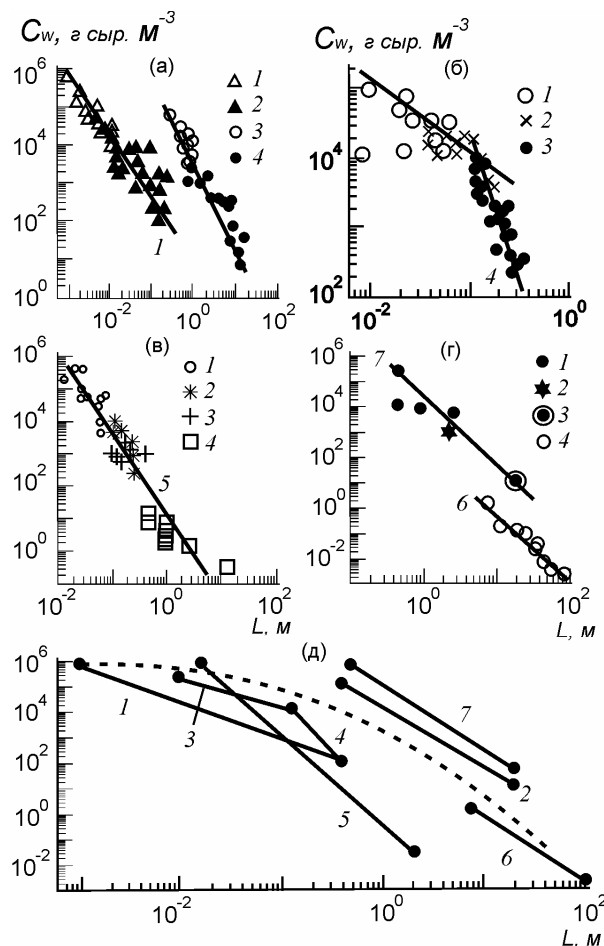


Рис. 8.4. Соотношение глубины акватории L (в обитаемых объёмах с макрофитами L^*) и концентрации живой массы водорослей C_w в акваториях и в обитаемых макрофитами объёмах воды (кроны, пологи):

(а) – Линия 1 – кроны бурых водорослей: аскофиллума (1) и фукуса (2); линия 2 – подводные пологи донных макрофитов в Кольском заливе Баренцева моря (3) и в бухтах и в разноглубинных зонах Чёрного моря (4).

(б) – Линия 3 – макрофиты в литоральных ваннах Баренцева моря (1), пологи многоклеточных водорослей: ламинарии на подводных камнях в Баренцевом море (3); линия 4 – пологи цистозиры на скальном дне Чёрного моря (2).

(в) – Линия 5 – пологи колониальных диатомовых водорослей на искусственном рифе (1), пологи цистозиры на подводных камнях в Чёрном море (2); пологи высших водных растений в пруду (3); пологи высших водных растений в днепровских водохранилищах (4).

(г) – Линия 6 – в сообществах фитопланктона разных геоморфологических зон Атлантического океана (4); 7 – в наземных и водных экосистемах разного типа: в пологах лесов умеренной и тропической зоны (1); в зарослях тростника, включая подводную и надводную часть его полог (2); в сообществе фитопланктона в районе апвеллинга (3).

(д) – Объяснения см. в тексте.

рачки образуют в таких ваннах основной весенний цикл экологического обмена веществ. Напротив, в морях и океанах с их бухтами, и мелкими береговыми фестономы формируются многозвенные пищевые цепи всех возможных типов.

Геоморфологическая информация передаётся в биоту по многим каналам и интегрируется в таких важных биологических параметрах водоёмов, как общая масса живого вещества W и её концентрация (C_w) в воде. Соотношение этих параметров (рис. 8.4) описывается обсуждавшимся в предыдущих лекциях уравнением: $C_w = aV^{-b}$. Разные углы наклона регрессий отражают, прежде всего, геоморфологические различия водных объектов. График на рис. 8.4 *д* выявляет кривизну обобщающей штриховой линии, которая качественно соответствует кривизне отдельных штриховых линий на рис. 8.3 *а* и *б*.

Многоканальность передачи геофизической, геохимической и геоморфологической информации определяется бесконечным разнообразием экологических “факторов среды”.

3. Концепция экологической ниши как локальной системы “организм-среда”.

В классической экологии отношения организмов и среды обычно описывают в концепции «среды обитания» (традиционный факториальный, *несистемный* подход). Факториальному подходу может быть придана некоторая *системообразующая* логика. В концепции экологической ниши вся совокупность средообразующих “факторов” рассматривается* как набор потенциальных ресурсов, предлагаемых извне разным видам организмов. Состав факториального набора назначается как некоторое множество: $e = (x_1, \dots, x_n)$. Член x_n является в системе заключительным, так что условие конечности объекта формально удовлетворяется. Практически же в рамках этой модели обычно изучается всего несколько, часто не более трёх переменных. Вызванные факторами (x_1, \dots, x_n) морфо-функциональные изменения в организме включают такие интегральные биологические показатели, как биомасса, численность, рождаемость, смертность. Поэтому экологическую нишу можно считать понятием системным (ограниченное количество факторов среды и скоррелированные с ними отклики организма). Такой подход позволяет отображать обитание как поведение особи или вида (точки на графике) в n -мерном факториальном поле.

В последующих лекциях мы будем понимать обитание не факториально, а так, как это было изложено ранее. Будут рассматриваться дискретные региональные, преимущественно водные экосистемы географического ранга, в том числе характерные для западного причерноморья Украины. Дадим несколько более развернутое, чем в учебнике Ю. Одума, определение региональных экосистем: это *природные, а теперь во многом и рукотворные, биокосные (Гео-Био-Социо) объекты, в которых косное вещество в его главных физических состояниях (твердое, жидкое и газообразное) взаимодействует с “живым веществом” в его главных состояниях (особи, виды, локальные популяции и сообщества, включая людей с их целевой человекоцентрической ориентацией).*

* Формальный аппарат и практика использования модели факториальной экологической ниши подробно описаны и проиллюстрированы на графиках в учебнике по экологии В.Д. Федорова и Т.Г. Гильманова (1980, с. 112 – 132).

4. Внешняя и внутренняя среды в биоэкологических объектах.

В биологии всегда подчеркивается принципиальное отличие внутренней среды организмов и среды внешней, окружающей. Состав *внутренней среды* клеток (цитоплазмы) рассматривается в учениках подробно, с перечислением основных классов входящих в неё веществ и подчеркивается важность постоянства состава и концентраций разных компонент. Важное значение придаётся поддержанию необходимой для жизни обводнённости клеток, и тканей, стабильности осмотического давления клеточного сока.

Перечень молекулярных компонентов *внешней среды* – растворенных минеральных и органических веществ так велик и разнообразен, что обычно перечисляются лишь классы соединений. При этом всегда подчеркивается, что концентрации разных минеральных и органических веществ в воде водоемов и в почвенных растворах варьируют в очень широком диапазоне. Достаточно вспомнить, что значения pH в почвах и природных водах различаются в пределах от 4 до 10. Это значит, что концентрация ионов водорода варьирует в пределах 6 порядков величин. Также широко варьируют концентрации главных биогенных элементов и веществ.

Постоянство внутренней среды живых телесных и надтелесных объектов на фоне широкой вариабельности внешних переменных обеспечивается в организованных природных системах благодаря разнообразию саморегуляторных процессов, протекающих на всех уровнях организации экосистемы. Результатом таких процессов является так называемый *гомеостаз*. Гомеостаз – явление не только **биологическое**, а **биоэкологическое** и даже **биогеоэкологическое**.

Во введении в восьмую тему разные дискретные отсеки биосферы сравнивались с бутылками разного объема с их содержимым, которое регулируется только при их заполнении для продажи. В отличие от содержимого бутылок, состав внутренней среды экосистем и биосферы формируется и стабилизируется при участии живых и косных структур, находящихся в отсеках соответствующих уровней организации. В клетке в регуляции участвуют клеточные органеллы, в сложных сообществах – организмы разных трофических уровней, в экосистемах к этому добавляется участие косного ложа, на котором сообщества обитают, включая рельеф местности и климат. В учебниках по “общей биологии” разнообразие внутренних сред с их специфической авторегуляцией полностью игнорируется и сводится к некому усредненному и безликому образу “внутренней среды вообще”. Это очень примитивное понимание. У учащихся создаётся и надолго закрепляется в корне ошибочное представление о жизни и её регуляции на разных уровнях организации. Искажается и представление о жизни региональных экосистем.

Высший уровень регуляции и стабилизации внутренней среды в составе биосферы – это уровень биосферы в целом. Рангом ниже следует внутренняя среда региональных экосистем (внутренних морей, озёр, прудов, почвенных экосистем лесного, лугового, и сельскохозяйственного типа, внутренняя среда городов и поселков). Насколько стабильна внутренняя среда живых телесных и надтелесных систем, можно судить по характерным для каждого уровня устойчивым концентрациям молекулярно растворенных в воде минеральных и органических веществ.

На рис. 8.5 показано соотношение между геометрическим объёмом телесных и надтелесных водных объектов и концентрацией растворенного органического вещества (РОВ) в их внутренней среде. В показанный на графике ряд входят живые организмы, локальные подводные пологи донных морских макрофитов и водоёмы с их населением. На абсциссе графика отложены значения индивидуального геометрического объема объектов. На ординате отложены значения концентрации РОВ в кле-

точном соке ветвей многоклеточной водоросли цистозире, в сыворотке крови черноморских акул и крупной рыбы. Это внутренняя среда организмов. Далее на графике следует концентрация РОВ в объектах надтелесного типа – в воде, взятой в густых зарослях прибрежных водорослей, выделяющих в ближайшую водную среду свои органические метаболиты. Далее следует РОВ в воде озёр и водохранилищ Украины с зарослями высшей водной растительности и, наконец, РОВ в воде Азовского и Черного морей.

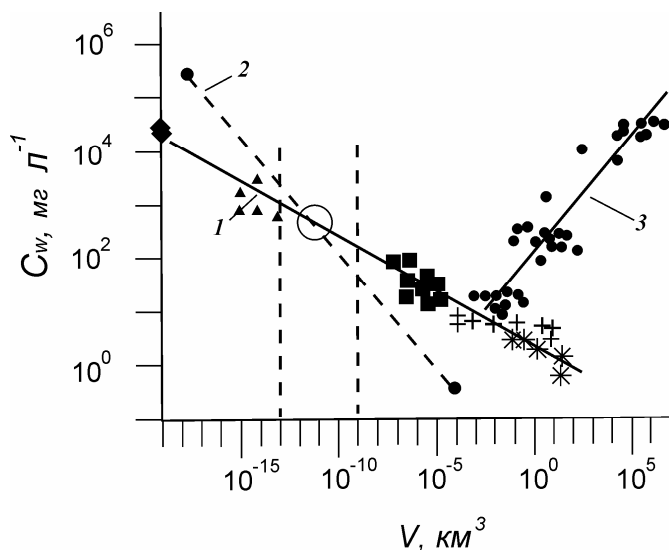


Рис. 8.5. Соотношение между геометрическим объемом (V_n, V_{n+1}) водных биокосных объектов с концентрацией (C_w) суммы растворённых в воде органических веществ (РОВ) в их внутренней среде. Линия 1 слева направо: клеточный сок морских многоклеточных водорослей (◆), в крови рыб (▲), вода в прудах и мелких озёрах с обильной водной растительностью (■), вода на мелководьях Чёрного моря (+), вода в океанах (*). Штриховая линия 2 показывает соотношение между геометрическим объемом и концентрацией взвешенного "живого вещества" организмов (BOB) в аналогичных водных объектах. Линия 3 – солёность воды в водоёмах разного объёма.

Вертикальные штриховые линии показывают область, в которой происходит пересечение линий РОВ и BOB. Кружком показана точка пересечения регрессий, в которой концентрации РОВ и BOB одинаковы.

Как следует из графика, концентрации РОВ во внутренней среде водных объектов разного типа и разного положения в иерархии биосферы, коррелирует с геометрическим объемом объектов. Соотношение между концентрацией взвешенного живого вещества и геометрическим объемом объектов отражает на рис. 8.5 штриховая линия 2 (её описывает часто обсуждавшееся уравнение $C_w = aV^b$).

Отметим особенности положения линий 1 и 2 в метрическом поле. Обе линии описываются одинаковым уравнением, но значения коэффициентов a и b в них различны, вследствие чего они пересекаются в области, отмеченной кружком. Точка пересечения регрессий всегда имеет важный биоэкологический смысл. Как следует из графика, в левой его части, до точки пересечения (от 10^{-19} до 10^{-12} км^3) концентрация BOB выше концентрации РОВ. В области кружка концентрация BOB и РОВ во внутренней среде объектов одинакова. Правее точки пересечения регрессий концентрация РОВ все более превышает концентрацию BOB.

Поясним, что область пересечения регрессий по ВОВ и РОВ находится не в какой-то одной, всегда постоянной точке, но может сдвигаться вправо или влево, что зависит от специфики сравниваемых объектов. В данном случае диапазон пересечения находится между двумя вертикальными штриховыми линиями ($10^{-11} - 10^{-9} \text{ м}^3$). Область в 4 порядка величин V примерно соответствует области перехода от объектов телесного типа к надтелесным, т.е. от биологических к экологическим. Это позволяет в каждом конкретном размерном ряду объектов находить минимальный размер экосистемы.

Но не этот, хотя и важный, но формальный вопрос обсуждается в данном случае. Наш основной вывод состоит в том, что **внутренняя среда водных объектов телесного и надтелесного ранга единообразно регулируется и стабилизируется живым веществом соответствующих уровней организации.**

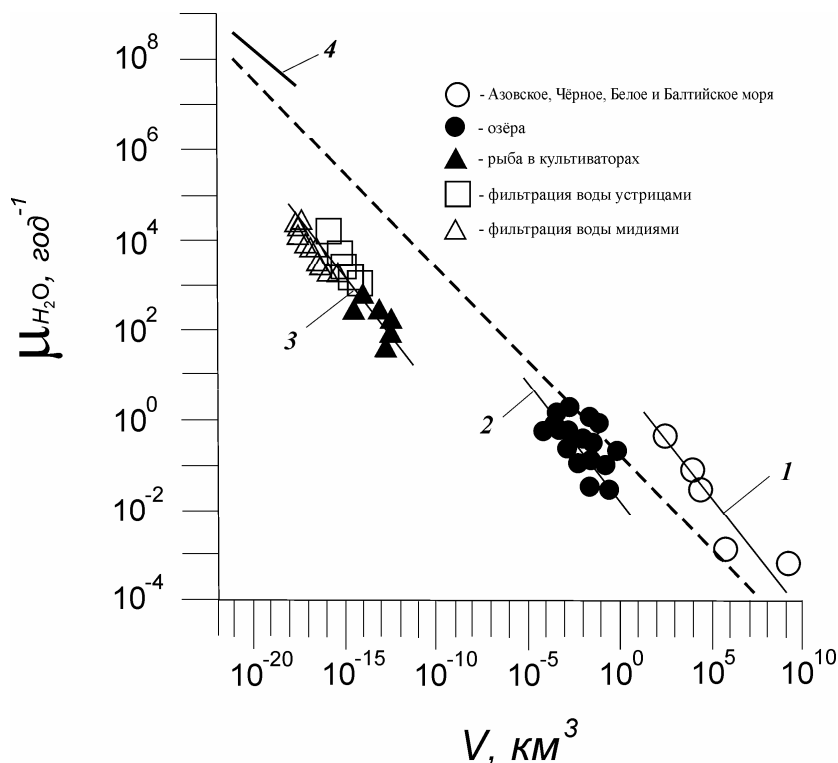


Рис. 8.6. Соотношение между геометрическим объемом (V_n, V_{n+1}) водных биокосных объектов и интенсивностью водообмена ($\mu_{\text{воды}}$) в них. Обозначения: моря: Азовское, Черное, Белое, Балтийское (1); рыба в культиваторах (2); фильтрация воды мидиями (Δ) и устрицами (\square); движение крови в капиллярных сосудах (4). Штриховая линия — обобщающий тренд.

Совершенно другим образом регулируется солевой состав воды в озёрах, морях и океанах. Линия 3 на рис. 8.5. показывает, как в размерном ряду водоёмов изменяется концентрация минеральных солей (общая солёность). Чем больше объем водоема, тем больше солёность, что и понятно: солёность воды организмами регулироваться не может. Солевой состав природных водоемов регулируется и стабилизируется при решающем участии косной основы экосистем, т.е. геохимически.

Понятно, что для жизни водных систем важна не только стабильность состава и концентраций биогенных составляющих внутренней среды, но и интенсивность постоянного обновления самой воды. Все живые и жизнеобитаемые системы открыты, прежде всего, по воде. Из рис. 8.6 следует, что интенсивность водообмена регулируется и стабилизируется по тому же закону, что и концентрация РОВ внутренней среды. На каждом уровне организации биосферы интенсивность водообмена регулируется также автономно: в клетке – в результате взаимодействия разных клеточных органелл, в многоклеточных организмах – при взаимодействии разных органов. В региональных экосистемах и биосфере регуляция происходит при взаимном участии Гео, Био и Социо. Региональные экосистемы – основной объект, в которых людское население приходит в наиболее тесное и постоянное соприкосновение с Природой. В учебниках по так называемой “общей биологии” (Кучеренко и др., 2001), издаваемых чиновниками минобраза Украины, дается в корне неверная интерпретация формирования и регуляции внутренней среды экосистем и биосферы.

* * *

Испокон веков люди селятся преимущественно вблизи водоемов, вдоль их берегов. На морских побережьях расположены крупнейшие города мира, действуют мощные морские порты, сконцентрированы транспортные узлы. К берегам подходят железные дороги, везущие огромные количества химикатов. Именно из водоёмов и водотоков люди получают питьевую воду. Вода, химически изменённая по многим параметрам и далеко уже не соответствующая нормам биосферы, поступает из водоёмов во все органы и клетки живых тел, людей в том числе. Здоровье миллиардов людей оказывается под угрозой. Медики сообщают, что ухудшение здоровья людей всего мира является проблемой не медицины, а состояния внутренней среды водных экосистем, в основном региональных.

Лекция 8.2. Океан в океаносфере и биосфере

1. Краткие сведения о геологической эволюции океаносферы и биосферы
2. Живой океан организован подобно живой клетке

Как правило, биологи мало знакомы с науками о Земле, а метеорологи и специалисты по физическим процессам в атмосфере мало осведомлены об участии жизни в формировании климата. Между тем, формирование в биосфере геологического, физико-географического, климатического и биологического пространств теснейшим образом переплетается. Можно и нужно рассматривать эволюцию и каждодневную динамику этих составляющих отдельно. Однако в социально глобализующемся мире необходимо осознание всех составляющих в контексте единой (Гео, Био и Социо) *организованности и коэволюции обитаемой области Земли*. Не забудем при этом, что дочеловеческие формы Социо (начиная с сообществ архейских прокариот) устойчиво существуют на Земле миллиарды лет, что резко контрастирует с возрастающей неустойчивостью людского социума.

Было бы ошибкой искать корни кризиса в отдельно взятых частных аспектах глобальной истории. Всё указывает на системный характер нестабильности биосферы. Для эколога это означает необходимость иметь хотя бы контурное, но фактологическое знакомство с историей Земли, жизни и климата, чего учебники экологии, а тем более биологии, не дают.

1. Краткие сведения о геологической эволюции океаносферы и биосферы

Возраст поверхностной области Земли оценивается примерно в 4,6 млрд. лет (Монин, 1977). Возраст жизни на Земле лишь немногим меньше – 4,5 млрд. лет. На этом фоне возраст высших форм жизни сравнительно мал: растений – около 0,5 млрд. лет, беспозвоночных – 1 млрд., простейших – 1,5 млрд. (Заварзин, 2001).

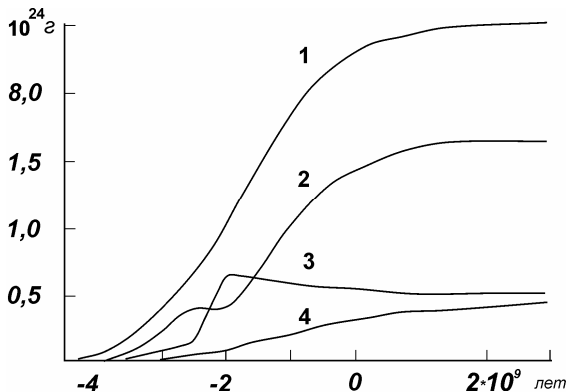


Рис. 8.7. Изменения со временем массы воды в гидросфере и земной коре по О.Г. Сорохтину.

1 – суммарная масса воды, дегазированной из мантии; 2 – масса воды в гидросфере; 3 – масса связанной воды в океанической коре; 4 – масса связанной воды в континентальной коре. Из Монин, 1977.

Прямым доказательством существования гидросферы в архейский период (и даже в катархее; 4,5 – 4,6 млрд. лет) служит наличие осадочных пород в земной коре

соответствующего возраста. На рис. 8.7* показано, как изменялась общая масса воды, дегазированной из мантии (линия 1) и как шло ее распределение между массой свободной воды в гидросфере (линия 2) и водой, связанной в океанической и континентальной коре (линии 3 и 4). Параллельно в воду гидросферы переходят химические элементы. Считается, что на 1 кг морской воды приходится 0.6 кг разрушенных горных пород. При их разрушении в первичный океан переводится 66 % содержащегося в них натрия, 10% магния, 4% стронция, 2.5 % калия, 1.9 % кальция. Общая солёность первичного океана была, вероятно, близка к современной. Его воды были хлоридными, нейтральными (рН около 7) и бессульфатными; кислород в них отсутствовал.

Свободный кислород мог образоваться в первичной атмосфере абиогенным путем, в результате фотодиссоциации водяного пара под действием жесткой волновой части солнечного спектра. Первые количества биогенного кислорода могли появиться в раннем биокосном океане при фотосинтезе одноклеточных водорослей, с начала архея (3.5 млрд. лет). Однако он расходовался на окисление атмосферных газов. Лишь много позже стало формироваться “геохимическое чудо” солнечной системы – кислородная атмосфера (оставляя в водной среде многочисленные анаэробные “карманы”, поддерживающие формы жизни с бескислородным обменом веществ).

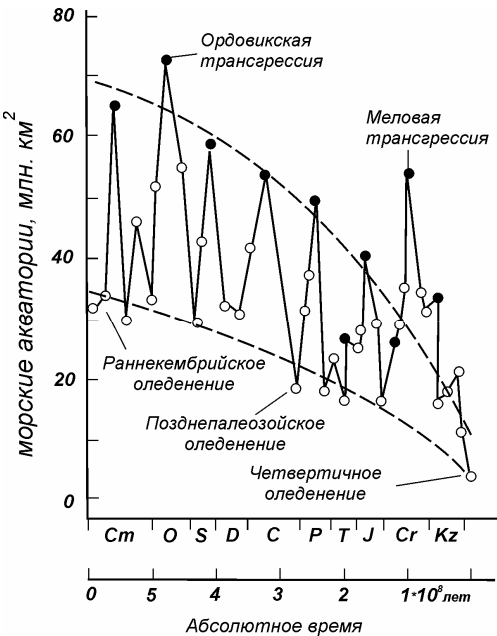


Рис. 8.8. Изменения суммарной площади покрытых морями территорий современных континентов. Из Монин, Шишков, 1979.

Наибольший интерес для нас представляют геологические и биологические события последних 500 млн. лет (фанерозой). Соотношение суммарной площади воды и суши изменялось в колебательном режиме (рис. 8.8). Черными кружками на графике отмечены максимальные трансгрессии, а белыми – умеренные. Обратим внимание на то, что циклы глубокого погружения твердой поверхности и её возвращения на уровень моря с последующим подъемом выше его уровня укорачиваются по мере приближения к современности (на графике – слева направо).

* Рис. 8.7 – 8.9 воспроизведены по книге А.С. Монина “История Земли” (1977).

Поскольку скорость ферментативных реакций в организмах на порядки величин выше типичной скорости химических реакций в косных средах, эволюция жизни, её усложнение и развитие людского социума шли с чрезвычайным ускорением. Одно из кардинальных событий, определивших ускорение эволюции древней жизни началось примерно 2 млрд. лет назад. Биогеохимик и микробиолог Г.А. Заварзин (2001, с. 991) пишет: «В геологической летописи обнаружено резкое изменение состояния литосферы и поверхностных оболочек Земли около 2 млрд. лет назад. Оно отмечено образованием красноцветных пород, свидетельствующих о появлении кислорода в атмосфере. В этот период биосферно-геосферная система стала как бы выворачиваться наизнанку: вместо кислородных карманов циано-бактериальных сообществах в условиях анаэробической атмосферы формируется кислородная атмосфера с анаэробными карманами в субаквальных условиях – местах потребления кислорода. После этого появилась возможность для развития биосферы современного типа».

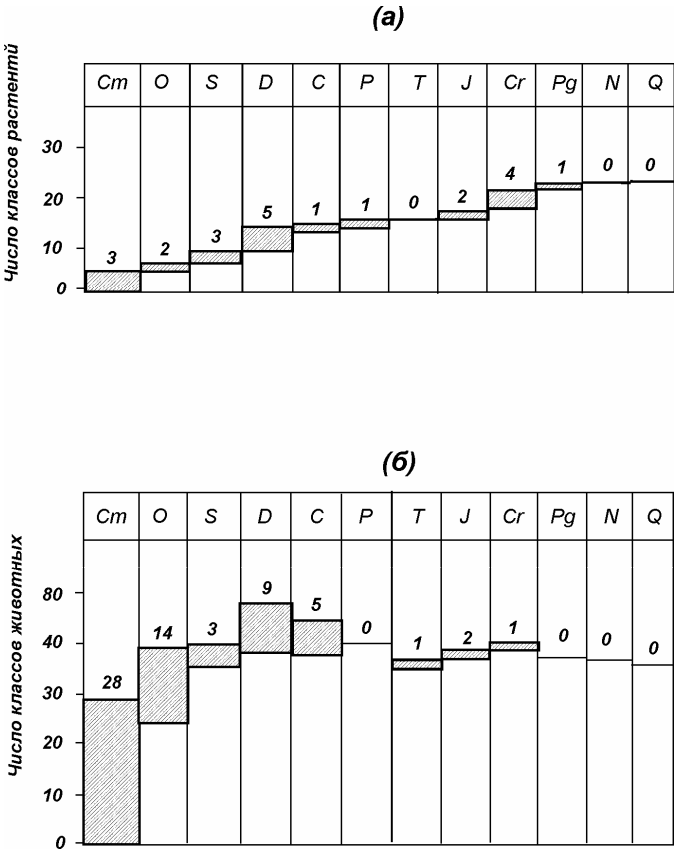


Рис. 8.9. Эволюция живой природы в фанерозое. (а) и (б) – соответственно число классов растений и животных в различные периоды фанерозоя. Заштрихованные части колонки и цифры над ними указывают число новых классов, появившихся в данный геологический период). Из Монин, 1977 .

За три миллиарда лет существования биосферы её бактериальные сообщества сформировали устойчивую биогеохимическую систему связей, на базе которой стало возможным и началось бурное развитие и видообразование тканевых организмов. Рис. 8.9 показывает, как происходило увеличение числа таксономических клас-

сов растений (а) и животных (б) в период фанерозоя (его стадии те же, что на рис. 8.8).

Климат Земли имеет в своей основе физические процессы, большую часть энергию для которых поставляет Солнце. Физические свойства воды и суши различаются по многим характеристикам. Вода океанов обладает большой теплопроводностью (в океанах она определяется в основном турбулентностью) и теплоемкостью, а поэтому и тепловой инерцией. Вследствие этого суточные и сезонные колебания температуры в океанах сглажены. Различна у континентов и океанов способность отражать коротковолновую солнечную радиацию. В январе на континентах наибольшие холода наблюдаются в Гренландии, Северной Канаде и Якутии, а в июне самые жаркие области характерны для пустынь Африки, Южной Азии и Мексики.

Состояние океанов характеризуется полями температуры, солёности, плотности и трехмерного вектора скорости течения. Водный баланс Мирового океана (Монин, Шишков, 1979) складывается из обмена воды с атмосферой (Осадки над водной поверхностью за вычетом испарения составляют $4.4 \cdot 10^{20}$ т в год), который компенсируется речным стоком ($0.4 \cdot 10^{20}$ т в год). Средняя температура всей толщи вод Мирового океана (без Атлантического бассейна) равна 5.7°C . Средняя солёность поверхности Мирового океана равна 34.84‰ .

2. Живой океан организован подобно живой клетке

Одна из книг об океане, изданная в последней четверти XX века, начинается так: “Научные описания океана – не самое интересное чтение на свете. Да, в таком-то месте океан такой, дальше немного иной, перечислять эти различия можно с разной подробностью, как можно перечислять улицы, или дома города с севера к югу. При этом мы можем найти определенную закономерность и симметрию и заполнить описанием сотни страниц.

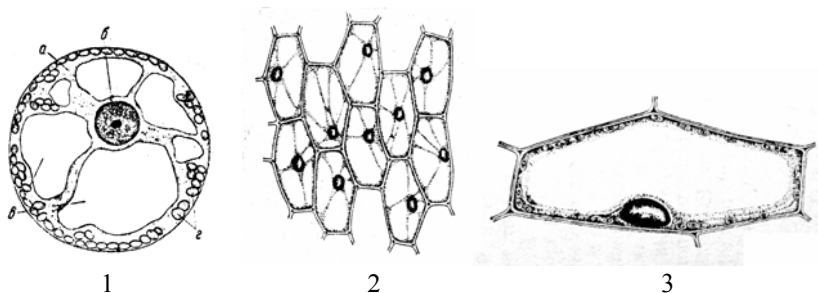


Рис. 8.10. Некоторые варианты формы рстительной клетки. 1– поперечный срез цилиндрической клетки: а – цитоплазма; б – ядро; в – вакуоли; г – хлоропласты. 2, 3 – группа растительных клеток и единичная растительная клетка.

Но нельзя ли выразить всю эту систему фактов одной идеей, одним сравнением, которое много могло бы сказать уму и чувствам? Рискнём это сделать. Если мы отвлечёмся от бесконечности просторов океана и всех частных многообразий его поверхности и берегов, если мы мысленно стянем океан до малых размеров, то сможем сказать, что океан имеет сходство с единой живой клеткой” (Лебедев и др., 1974, с. 6).

Начиная знакомиться с океанами, не забудем, что на ранних стадиях геологической эволюции Земли они формировались по законам косного мира. Живыми без кавычек они становились по мере заселения, в ходе биологической эволюции и эволюции самой биосферы. В истории биосферы (первые три с половиной миллиарда лет), в поверхностных водах Земли обитали только лишь одноклеточные существа. С появлением в воде микроорганизмов океаны стали объектами биокосными. Именно в таком, обитаемом виде их можно сравнивать с живыми клетками.

На рис. 8.10, взятом из учебника по ботанике, видим классический образ клетки растения. Здесь показаны лишь три варианта клеточной формы из множества других, на “клеточку” из школьной тетради совсем не похожих. Но и этих изображений достаточно, чтобы заметить ярко выраженные структурные свойства, присущие большинству клеток. В пространстве клетки густая протоплазма распределена не равномерно: она примыкает к стенкам; к ним же жмутся и хлоропласты. Большую, внутреннюю часть пространства клетки занимают вакуоли с низкой концентрацией органических веществ; хлоропластов здесь нет. Такое распределение наиболее активных и слабо активных зон типично для всех систем, имеющих постоянный обмен со своей средой; такое строение закономерно.

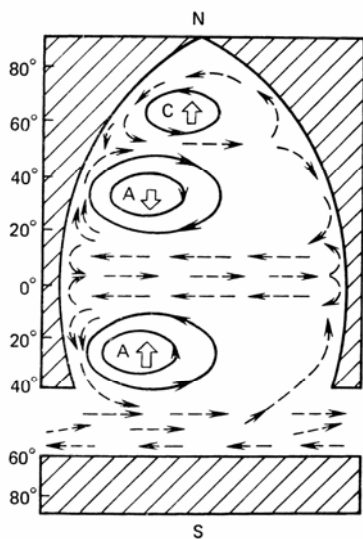


Рис. 8.11. Схема океанической циркуляции. Пояснения в тексте. Из: Lebedev et al., 1989. Отметим сходство схем на рис. 8.10 и 8.11.

Первейшая задача жизни – получать необходимые для роста питательные вещества, а они поступают извне, через внешнюю границу, проницаемую для молекул оболочки. В оболочку вмонтированы транспортные ферменты, энергетически активирующие и переносящие пищевые вещества внутрь и удаляющие наружу отходы клеточного метаболизма. У внутренних стенок начинается синтез новых клеточных веществ. Протоплазма здесь наиболее активна. По мере удаления от стенок интенсивность обменных процессов снижается, а в больших вакуолях обмен веществ вялый; здесь располагаются обводненные молекулярные хранилища. Клеточная протоплазма движется в основном круговым потоком, идущим вдоль поверхности клетки, омывая её пристеночную, метаболически активную область.

Взглянем на океан в одном из его “разрезов” (рис. 8.11). На рисунке показана схема круговых течений в поверхностной области. Эту схему можно считать графической моделью Атлантического или Тихого океана. Как следует из рисунка, в окружении косых берегов находится водная масса. Стрелками показаны две главные

группы однонаправленных течений (в экваториальной и в приантарктической области). Выше и ниже экваториальных потоков видим замкнутые круговороты. Их центры обозначены буквами А (антициклонические, высокого давления) и Ц (циклонические – низкого давления). По периферии и в центре круговорота вода движется во взаимно противоположных направлениях. В центре области атмосферное давление понижено и поэтому градиент давления направляет воздушные потоки над поверхностью вод к центру, а сила Кориолиса поворачивает их против часовой стрелки (в северном полушарии).

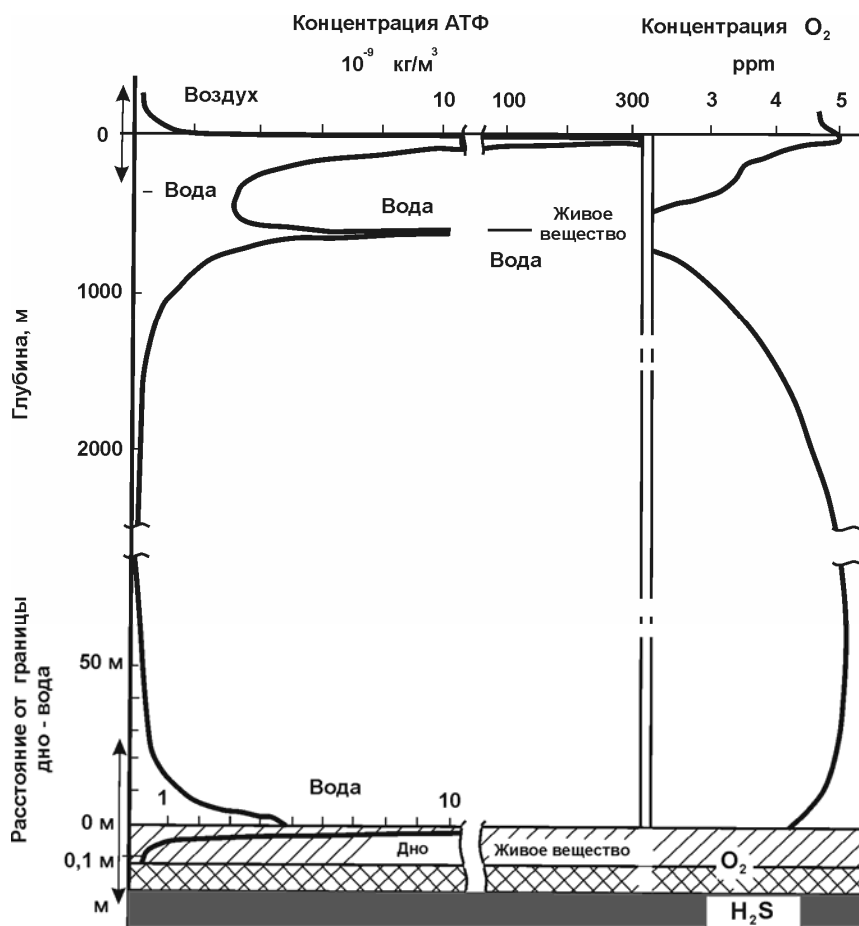


Рис. 8.12. Схема вертикального околосредового распределения кислорода, АТФ и сероводорода в Атлантическом океане. Уместно сравнить эту схему и схему распределения структур в живой клетке (рис. 8.10.). Из: Lebedev et al., 1989.

Из рисунка видно, что центры океанических колец смещены к западным берегам океана. У этих берегов развиты мощные, наиболее сильно влияющие на климат Земли течения. Это Гольфстрим в Атлантическом океане и Кюросио в Тихом. Менее известны аналогичные течения южного полушария. Сходства циркуляторного, причем сдвинутого в стенкам, движения водной фазы в клетке и в океане нельзя не заметить. И хотя действующие в них механизмы имеют совершенно разное происхождение, первичный источник энергии в клетке и в океане общий – Солнце.

На рис. 8.12 показана схема, отражающая основные черты пространственного распределения жизни в океане. Здесь совсем другой, но тоже легко узнаваемый “клеточный” облик. Сходство с живой клеткой определяются здесь околограничным распределением метаболически активных процессов. В верхней левой части рисунка видим профиль распределения АТФ вдоль границы между океаном и атмосферой. В сравнительно тонком фотическом слое воды сосредоточен фитопланктон с сопутствующими бактериями и поедающими их мелкими животными (благодаря их присутствию концентрация АТФ в этом слое в 10 – 50 раз выше, чем в придонном слое океана). Вертикальный профиль АТФ (на рис слева) выявляет еще один максимум жизни на глубине около 500 м от поверхности. Ниже этого слоя концентрация АТФ снижается до минимума и еще раз повышается вблизи дна, за счет придонной жизни. В правой части рисунка показан вертикальный профиль распределения концентрации кислорода в воде.

Важная роль разнообразия организмов в мире жизни общеизвестна. Однако, среди “множества разнообразий”^{*} есть разные по важности. В сфере жизни разнообразие особенно важно в тех случаях, когда на его основе возникают химические, физические и биологические, прямые и обратные связи *между функционально разными частями объекта* и формируется его системная организация. Так вот, химик и биогеофизик Т.А. Айзатуллин предложил индекс функционального разнообразия для оценки околограничных явлений в биокосных объектах (в том числе на основе различий между Гео и Био). В океане, в отдельно взятой взрослой живой клетке, в теле взрослого слона или кита четко выделяются три типа физических тел – жидкие (вода), твердые (кости, раковина, в океане его твердое ложе) и парные границы – Гео-Гео, Гео и Био, а соответственно и граничные поверхности между ними. В любом районе океана можно определить: 1) количество граничащих и взаимодействующих объектов, n , и 2) количество прямых и обратных связей, R , между ними:

$$R(n) = n(1 - n)$$

Здесь R выступает в роли индекса разнообразия^{**}.

Применительно к физико-географическому процессу (ФГП) величина n показывает разнообразие объектов в геофизической (Гео-Гео) среде, а $R/2$ – количество системных взаимодействий в этом процессе или объекте.

Обратимся в этой связи к рисунку 8.13. На нем показана структура океана, отражающая разнообразие его основных физических интерфейсов (и соответственно околограничных взаимодействий). Как и в живой клетке, главные жизненно активные зоны океана примыкают к его граничным поверхностям – границе с атмосферой, с берегами, с дном. Это зоны высокой концентрации “живого вещества” и АТФ. И напротив, центральные области океанов бедны жизнью. Они функционально напоминают большие клеточные вакуоли.

^{*} О “разнообразии разнообразий” можно прочитать в книге “Что такое жизнь на Земле? (Хайлов, 2001, с. 36 – 60).

^{**} Этот индекс может рассматриваться не только в контексте комбинаторного анализа, но также с точки зрения статистической термодинамики и теории информации. Количество прямых и обратных связей между взаимодействующими объектами определяет количество вероятных состояния системы: $N = 2^{n(n-1)}$, меру статистических различий и максимальное количество информации в байтах, $R = \log_2 N = n(1 - n)$.

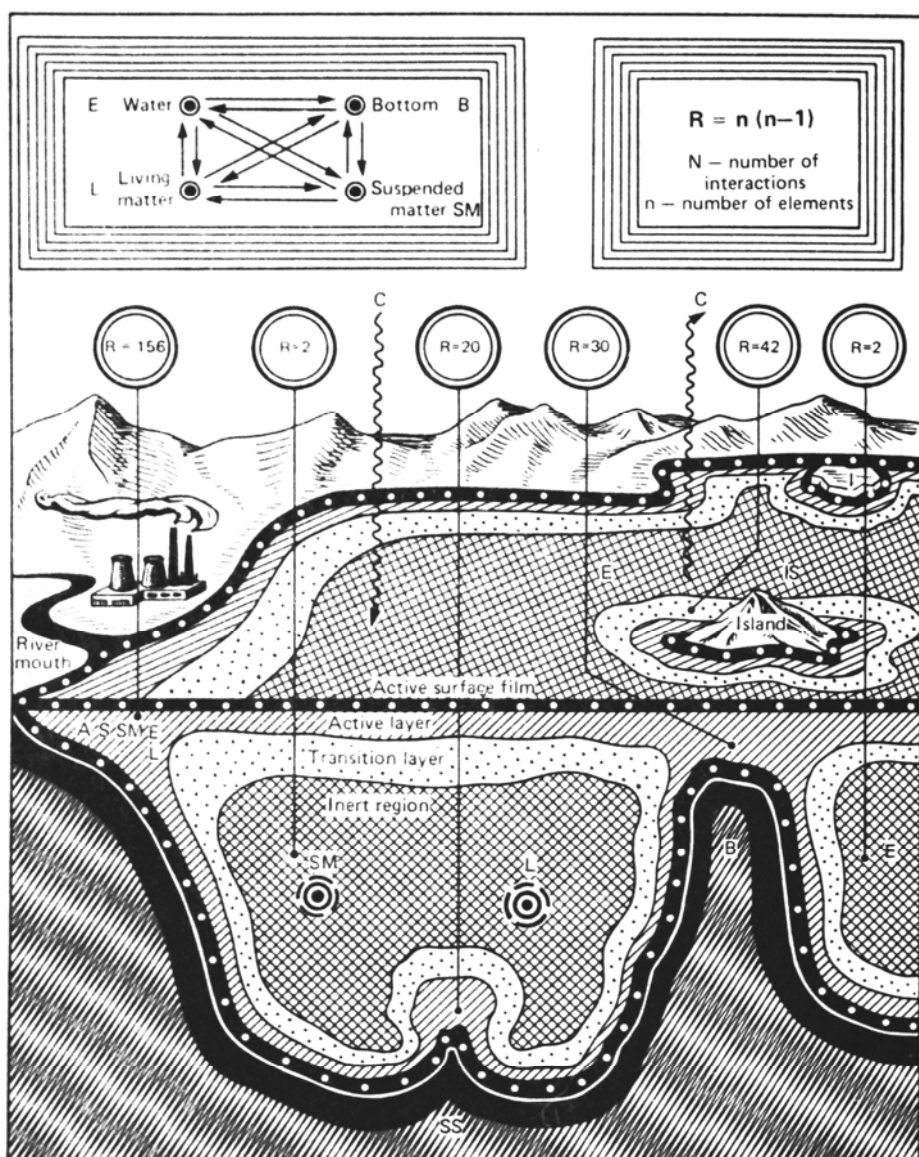


Рис. 8.13. Циркумграничная структура океана и локальное разнообразие взаимодействующих географических компонент. Из: Lebedev et al., 1989.

На схеме, в кружках приведены оценки приграничных индексов R . Обозначены следующие границы: А – вода-атмосфера, S – вода берег, SM – вода - взвешенные в воде органические частицы, В – вода-дно, L – вода-живые организмы, I – вода-лед, IS – вода-остров, SS – вода-подводный источник (выброс) и C – обобщенное взаимодействие с космосом.

Если двигаться из некоторой точки, где число границ минимально (при $R_{\min} = 2$), в другую точку (i), вероятность (P) очага жизни изменяется соответственно уравнению:

$$P_i = P_{\min} / P_{\min} = (R_i / R_{\min})^\alpha$$

Здесь P_i и P_{\min} представляют искомые вероятности, $R_{\min} = 2$, и α – эмпирически определяемая экспонента.

Опыт расчетов, проведенных по картам районов морского промысла, показывает хорошее совпадение с концентрацией организмов высших трофических уровней. При этом существенно, что повышенные значения R совпадают с параметром ФГП, выраженным через количество взаимодействий между физико-географическими характеристиками районов промысла (Lebedev et al, 1989, pp 262 – 264).

Сопоставление пространственного портрета живой клетки и портретов, в разных сечениях отражающих живой океан, показывает структурно-системное подобие двух этих далеко отстоящих один от другого уровней организации жизни. Их сходство определяется единством базовых законов природы и законов метаболизма. Принципы поточной организации клеток и океанов, общая в тех и других химическая и биохимическая кинетика, свойственная им колебательная природа процессов – все это имеет глубокое сходство.

На фоне системного подобия клеток и океанов ярко выступает целый ряд незаметных глазу, но важных различий. Колоссально различны характерные времена жизни клеток и океанов. Столь же разительно непохоже соотношение в них масс Гео и Био; специфична и их динамика. Действительно, яйцевая клетка или зародыш растения или животного представляют собой ювенильные биокосные объекты с наивысшей концентрацией биоорганических веществ и небольшой долей Гео (клеточная и тканевая вода, минеральные вещества), с ярко выраженными свойствами жизни, готовые к росту и развитию. Косных веществ в виде тверди молодая клетка или зародыш растения не имеют. Напротив, океаны – это близкие к стационарному состоянию уровни организации гидросферы, в которых масса воды, растворенных минеральных солей и твердых биогенных отложений на много порядков величин превышает общую массу биоорганических веществ. Продолжая перечислять различия, отметим, что скорости и интенсивности физических (движение протоплазмы клеток и интенсивность водообмена), химических и биохимических процессов в живых клетках на много порядков величин выше, чем в океанах.

* * *

Авторы книги об океане, цитированной в начале второго раздела этой лекции, выражают созревшую к концу XX века догадку и осторожно её комментируют: “Мы решились сравнить океан с живой клеткой по той причине, что, поглощая внешнюю энергию, океан непрерывно совершает некоторую закономерную работу, некоторые ритмические циклы деятельности – механической, термодинамической, химической и биологической, что, находясь на разных широтах в условиях очень различных, он не теряет своего единства и имеет способы сохранять и поддерживать свои отличия от внешней среды” (Лебедев и др., 1974, с.7). В начале XXI века единство организации и жизни разных природных объектов, входящих в состав гидросферы и биосферы, подтверждается по многим характеристикам.

Многоплановая скоррелированность в гидросфере и биосфере

Введение в тему

Мир начала XXI века быстро глобализуется и законы больших природных систем, вселенские, наглядно себя обнаруживают. Замечает это не каждый. Каждый привык думать, что среда состоит из “факторов”, на которые наплевать.

Вплоть до наших дней отдельные граждане, их трудовые группы, и стоящие на ушах властные вертикали – все строили жизнь, исходя из людских потребностей, а на каждом ярусе они свои, близкие к телу. Потребностей прочих существ люди не замечали, от Земли и природы все более отдаляясь. Туда же шла и наука, Человека обслуживая и ублажая, а природу грубо пиная. Теперь уже ясно: человекоцентризм и вектор развития северо-западной части мира были ошибочны. Таким мировым порядком остаться не может. Юго-восточный мир на запад пока заглядывается, а срединный свой собственный путь ищет. Мир на распутье?

Проблема у всех одна: в стороне остался главный природный объект – Биосфера, внутри и под защитой которой жизнь зародилась и миллиарды лет развивалась, позволив появиться и Человеку. Заглавная буква подходит ему не больше, чем трудолюбивому муравью. В составе земной природы человек – мелочь, рядовой обитатель. В *Школе* это было наглядно показано. О потере статуса “Главного” сожалеть нечего, хотя кто то и огорчится. Но вот вопрос: по расчетам астрофизика Шепли человек занимает место в центре астрометрики. Почему? Это знак какой – хороший, или очень плохой? Уж не признак ли людского предела, как у динозавров?

Специалисты документально показывают, что начало глобального кризиса совпадает с началом промышленной революции в середине XVII века. С этого времени стабильность автомата биосферы стала снижаться, по историческим меркам – круто. За рядом шагов к людскому довольству следует череда отложенных следствий. Поскольку все земные ресурсы ограничены, последствий их исчерпания не избежать, но постепенно смягчать можно. Сократились же и измельчались динозавры. Только для этого устройство биосферного автомата предстоит изучать, иначе измельчаем.

Что в биосфере главное? Главное в ней все. Не думают же наши читатели – люди университетского уровня, что какой то орган у человека главный? Так и у биосферы. И все же поищем. В онтогенезе человека с наибольшей заботой Природа охраняет пропорции тела, внешние – между зримыми частями тела, между всеми органами и всеми тканями. Пропорции в составе крови тоже важнее всего. Они же главные и в людском характере, и в семье.

Нарушение законных пропорций системы ведет к расстройству ее функций. В биосфере все обстоит так же. Вероятно, ее пропорции и есть ее Главное.

Анализ пропорций состоит в анализе корреляций. Тренды на графиках отражают корреляции (текущие нормы), а дисперсия показывает допустимые (по фактам обитания!) отклонения от норм. Взаимное расположение трендовых линий в метрическом поле не графиках отражает пропорции, присущие данному типу природных объектов. Когда тренды пересекаются, или бывают, ступенчаты (что на многих графиках видим), это всегда значимо и побуждает думать.

Имеют ли все эти сведения существенное научное и прикладное значение? В биологии XX века глобальные научные образы и модели почти не обсуждались. В экологии они появились, но главными не стали. В научной географии они были во все времена. В начале XXI века география и экология сблизилась настолько, что в обеих областях знания видят и обсуждают (характерный пример: Симонов, 2003, с. 107 – 109) зону тесных взаимосвязанных разработок. В экологии и в географии одинаково хорошо осознают и их острый прикладной смысл: *“Теперь экологией и ее проблемами занимаются государства и политики. Они не могут десятилетиями ждать решения фундаментальных проблем человека. Поэтому экологические проблемы были выделены в межотраслевую проблему. Ее решением занимается практически вся наука. Потребителем новых знаний становятся правительства и парламенты”*.

Актуальность проблем структурно-функциональной организованности и стабильности биосферы очевидна, а к какой группе знаний биосфера относится – к наукам о Земле, о Жизни, или о Человечестве, предметом спора быть не может. Можно с уверенностью предположить, что важнейшим участником и вкладчиком в этом междисциплинарном секторе науки и практики станет в ближайшие годы фундаментальная и прикладная медицина. Ни одну из названных наук биосферология не умалит и не вытеснит. Ее функция – научная охрана всего населения Земли, а человечества и его здоровья в первую очередь, поскольку этот вид телесной и групповой жизни в начале XXI века оказался в наибольшей опасности.

Девятая тема посвящена закономерным пропорциям биосферы. Не станем уверять, что тренды на приводимых рисунках тему биосферных пропорций исчерпывают. Они ее только лишь начинают. Ни одна из созданных людьми наук биосферу профессионально, как свой собственный объект, не изучала, и нужного понимания нет. Все, что авторам было о биосфере известно, старались сообщить. По сообщаемым фактам девятая тема – завершающая, а общие смыслы *Школы* выразим напоследок простыми словами.

Спасибо и до встречи.

Лекция 9.1. Различие и сходство косного и живого миров

1. Филетическое древо, метрика биосферы и некоторые следствия для науки и образования
2. Геоморфология, биоморфология и биогеоморфология

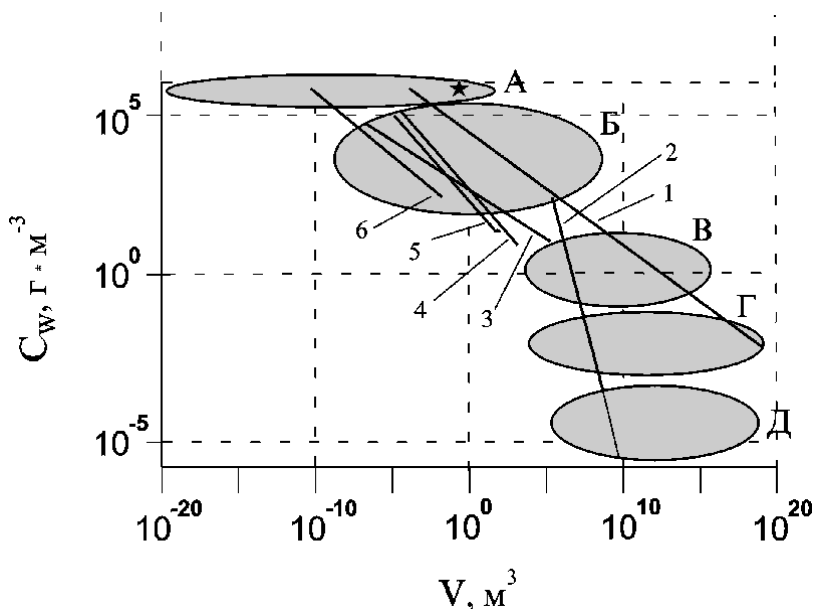
1. Филетическое древо, метрика биосферы и некоторые следствия для науки и образования

В учебниках по биологии мир биологических видов имеет только одну мерную характеристику; это шкала геологического возраста Земли, на которой эволюция видов занимает примерно 4.5 миллиарда лет. Других метрических образов “живая природа” не имеет. На фоне большинства современных наук и учебных предметов такая модель выглядит примитивно. Качественный “язык признаков”, используемый базовыми биологическими науками, резко контрастирует с формализованными языками и численными подходами, характерными для всех точных наук.

Еще одна застарелая, но сохранившаяся до начала XXI века черта учебной так называемой “общей биологии” – **отсутствие познавательной перспективы**. Видоцентрическая концепция жизни в основном завершена и нет никаких признаков того, что горизонт биологии может быть существенно раздвинут, распахнут и откроются новые фундаментальные знания. Самые успешные разделы биологии связаны с нано-структурами. Однако, главной ареной природопользовательной и природоохранной деятельности в глобализующемся мире стала обитаемая область Земли, ее биосфера. Она же – центр происходящих кризисных явлений.

В учебниках по биологически ориентированному природоведению отсутствуют важнейшие вопросы и темы XXI века. Как организмы и косные обитаемые объекты соотносятся между собой в биосфере? Можно ли разместить те и другие общей метрике, обозреть и сравнить между собой на численной основе? Какова сравнительная важность косных и живых структур для жизни и стабильности биосферы и её обитателей (а в их числе и человечество)? Существует ли единая структурно-функциональная организация биосферы, как она существует у организмов? Нет ли связи между морфологией косных тел Земли (геоморфологией) и морфологией живых тел (биоморфологией)?

Часть ответов на эти вопросы в меру возможности обсуждалась в предшествующих лекциях. Графики, построенные в метрике биосферы, уже не раз в лекциях использовались. Вернемся к одному из них (рис. 9.1). На нем показана связь между геометрическим объемом разных объектов биосферы и объемной концентрацией “живого вещества” в них, ($C_w = W/V$, где V – геометрический объем объекта, а W – общая масса организмов). Из графика на рисунке следует, что с учетом полного ряда организмов и надорганизменных объектов, метрика биосферы по V охватывает 40 порядков величин. Подчеркнем важную особенность метрики: 22 порядка величин по абсциссе приходится на организмы (от бактерий до китов и слонов – сектор А) и 18 порядков – на надорганизменные объекты географического ранга (начиная с небольших прудов и заканчивая Мировым океаном – часть эллипса Б и целиком эллипсы В, Г и Д).

[illegible]

В последующих лекциях будут показаны и другие развертки биосферы. Модели такого типа в совокупности дают гораздо более широкое отображение жизни на Земле, чем занимает область организмов (эллипс А, соответствующий миру организмов и их видов).

Из модели на рис. 9.1 вытекает несколько концептуально важных следствий, которые из видоцентрической модели живой природы не следуют. Биология поставила и в своих границах решила проблему жизни в форме организмов, их видов и отчасти (далеко не полностью) сообществ организмов. Между тем, эволюция организмов проходила на фоне геологической эволюции, т.е. при участии физических и химических трансформаций косного вещества Земли. Проблема происхождения и эволюции любых объектов природы осложняется тем, что все они существуют как множества. Первичные природные популяции и сообщества появились на Земле одновременно с первичными организмами и заняли локальные места на земной поверхности. Одновременно с примитивными бактериальными сообществами стали формироваться первичные экосистемы и ранняя биосфера.

В учебниках по биологии справедливо сообщается, что эволюция организмов начинается с одноклеточных и продолжается многоклеточными. Однако дальше вы-

страивается совершенно невероятная последовательность: за организмами “как бы” следуют биологические виды, затем сообщества, затем экосистемы и биосфера. По такой схеме эволюция излагается во всех учебниках по общей биологии для средних школ. Создается ложное впечатление, будто эволюция надорганизменных обитаемых систем, изучаемых в экологии, является *продолжением* эволюции организмов. Возникает вопрос: являются ли естественный отбор творческим механизмом и движущей силой эволюции сообществ, экосистем и биосферы? Понятно, что правильного ответа при ложных исходных представлениях быть не может. Авторы учебников пытаются ответ найти, но впадают в противоречия.

Пример таких объяснений можно найти в современном учебнике по общей биологии для общеобразовательных средних школ Украины (Кучеренко и др., 2001, с. 375): *“Какова роль видов в биосфере?”* (имеется в виду роль творческая, эволюционная – авторы). *Миграции особей между популяциями одного вида из разных биогеоценозов изменяют частоты встречаемости определенных состояний признаков (?) и генофонды популяций в целом. Это отражается на плотности популяций (?) и способствует включению определенных регуляторных механизмов (?) биогеоценозов на её (чьё? – популяции или биосферы?) сбалансирование (?), то есть ведет к ряду микрорволюционных изменений (изменений где – в популяциях, в биогеоценозах в биосфере?). Итак, популяции одного вида как бы “сшивают” отдельные биогеоценозы в единую надсистему”*. В данном случае под “надсистемой” имеется в виду биосфера. Рядом, на стр. 374 читаем такое дополнительное разъяснение: *“В зависимости от типа биогеоценоза эволюция входящих в него популяций может происходить в различных направлениях”*. В двух этих цитатах фальсифицированы и дарвинизм, и экология одновременно.

При всех рассуждениях об эволюции в биогеоценозах, экосистемах и даже в биосфере учебный материал эволюционной биологии заканчивается видом *Homo sapiens*. Здесь, на уровне видов организмов пролегает граница применимости дарвинизма и всей современной генетики. Бездумно переходя через эту границу в область экологических объектов, авторы биологических учебников оказываются беспомощным, что и показывает приведенный выше пример.

Налицо зияющий пробел в биосферной части массового, а во многом и профессионального, но узко специализированного образования. Это не позволяет студентам формировать современное миропонимание. В большинстве учебников биологии для высшей школы тема биосферы, а тем более её эволюция обсуждается в отрыве от современных научных данных, вероятно потому, что необходимые сведения рассеяны по многим и очень разным природоведческим наукам. Тема многообразия протекающих на Земле эволюционных процессов редко затрагивается даже в высшей школе. В экологическом образовании начала XXI века такие пробелы особенно недопустимы.

Из экологического образования уходят и вопросы коэволюции Земли и жизни, одновременного формирования всех уровней организации биосферы. Эволюция жизнеобитаемых объектов эколого-географического ранга, размера и состава принципиально не может быть описана в одних только биологических терминах. При ничтожно малой доле “живого вещества” в экосистемах механизмы наследственности никакой существенной роли играть не могут. **В интерпретации экосистем, ландшафтов и биосферы, а соответственно и их эволюции, без современной концептуальной базы наук о Земле обойтись невозможно.**

2. Геоморфология, биоморфология и биогеоморфология

В учебниках по биологии учащиеся читают об изумительном разнообразии форм в мире организмов. Растения бесконечно различаются по размеру, по контурам крон, по компактности или, напротив, по рассечённости тела, его разветвленности, по форме разных органов и т.д. В мире косных твердых и жидких (водоемы) тел наблюдаются аналогичное разнообразие. Горным породам свойственна внутренняя трещиноватость (аналог внешней рассечённости). В косном мире известно и ветвление (морозный узор на твердой поверхности, ветвление “растущих” кристаллов, ветвление рек и т.п.).

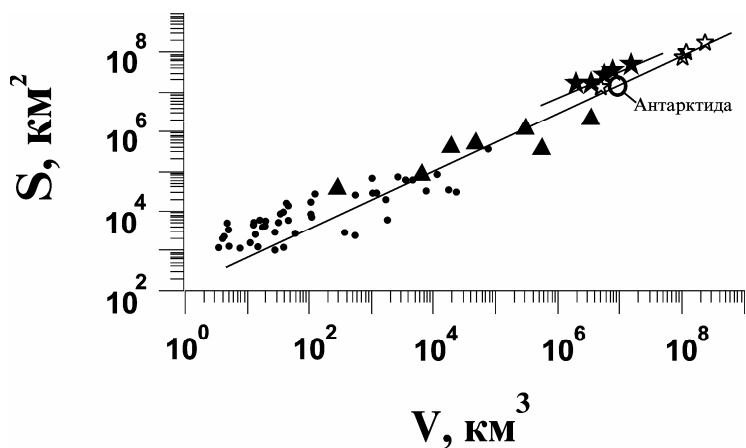
Типичный биолог сказал бы, что сходство ветвления дерева и морозного узора на стекле – явление внешнее, поверхностное, к науке никакого отношения не имеющее. Типичный биолог сказал бы также, что аналога разветвленным трещинам в горных породах в живом мире искать не следует, что это методологически ошибочно. Ошибочно потому, что живое и косное “принципиально различны”, что никакого **родства** между Гео и Био нет. Биолог сослался бы на философов, которые утверждают, что различия между неживым Гео и живым Био “качественные”, т.е. глубинные, тогда как различия по внешнему облику являются “количественными”, не столь важными. Такая точка зрения была, да и остается в биологии традиционной.

Не будем прибегать к философским оценкам, поскольку в естественных науках ценны именно численные оценки, а не зрительные впечатления, интерпретируемые неоднозначно. Можно уверенно констатировать, что морфология (т.е. та или иная структурная организация) присуща как косным, так и живым телам. В таком случае, уместен вопрос: имеется ли существенное, важное для науки сходство между *биоморфологией* и *геоморфологией* природных тел? Аналогичный вопрос в рамках геоморфологии поставим так: имеется ли важное для науки сходство между морфологией внешне очень непохожих (“качественно” различных?) жидких и твердых тел Земли – океанов и континентов озёр и островов? Ответы получим, опираясь на численные данные из географии.

Сравним по геометрическим параметрам жидкие тела земной природы, относящиеся к разным геоморфологическим “видам”. Это океаны, моря, озера, с одной стороны, и континенты и острова с другой. У тех и других имеются индивидуальный геометрический объем V , вычисляемый как произведение площади, S , зеркала водоёма или площади участка суши на среднюю глубину или высоту того и другого. Это позволяет сравнить твердые и жидкие тела в их размерных рядах. Сравнение покажет, насколько S и V между собой скоррелированы. Понятно, что сама по себе скоррелированность двух геометрических характеристик неизбежна. Вопрос лишь в том, не являются ли отклонения природных тел от строгих геометрических форм более важными, перекрывающими (в виде дисперсии) законы геометрии. Напомним, что в лекции 2.3 такой вопрос в общей форме уже обсуждался.

На рис. 9.2 соотношение S и V показано на обширной группе водоёмов (начиная от океанов и заканчивая небольшими, объёмом с десятки литров литоральными ваннами). Водоемы обобщаются длинной линией, а короткая линия обобщает Атлантический, Тихий и Индийский океаны и глубоководные океанические впадины. Геоморфологические соотношение между S и V можно выразить уравнением:

$$S = aV^b \quad (1)$$



Дѣн. 9.2. Їа аѡаѡеѡа нѣаѡаѡа нѣїѡѡаѡеѡїааїїнїнѡу ааїаѡѡе-аѣѣаї іауаїа (V) є аїаѡаѡе, нїїѡѡеаїаїаѡуѣнї н аїїнїѡѡаѡїѡе, нїаѡѡїнїѡѡе (S) нїнїаїїѡѡ ѡѣїаї єїнїїѡѡ ааїнѣнѡаї – єїїѡѣїаїѡїа (★), іѣаїаїа (☆), нїѡѡе (▲) є іѡѡѡ (●). Ёаѣ аѣаѣї, ѡаѣїнїаїѡаїѡу нїаѡу V є S нїаѣаааѡнї аї аїаѡѡ аѡѡнѡѡ іауаѡѡїа, ѡїѡу ѡаѡѡаїнїѣї, іаїауаїаїаї єїїѡѣїаїѡу, ѡаїнїѣаїаї іаїѣїѣуѣї аїѡѡѡ ѡаѡѡаїнїѣ, іаїауаїаїаї іѣаїаї, нїѡѡ є іѡѡѡ.

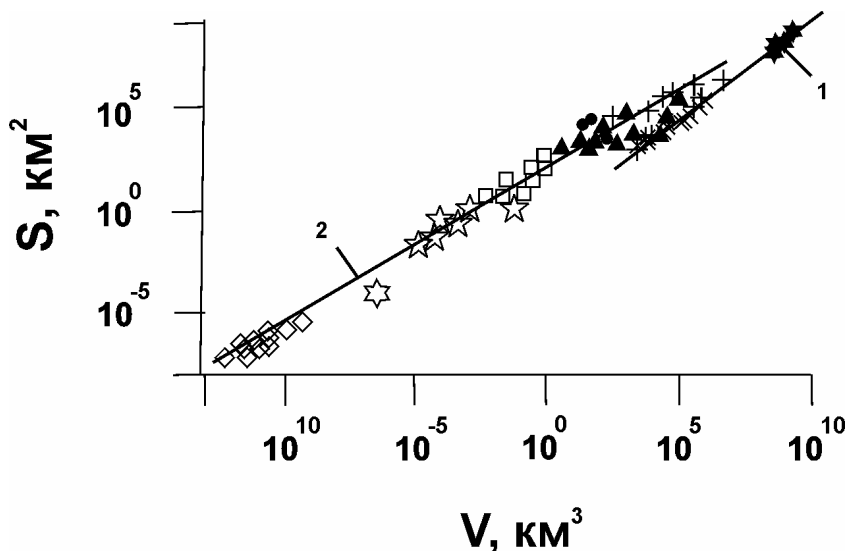
[illegible]

График на рис. 9.2 показывает, что геоморфологические различия между внешне разными жидкими телами в масштабе биогидросферы не очень значительны.

а тренды – линии, отвечающие уравнению (1), явны. Из графика следует, что линии близки по значениям коэффициента b (углу наклона линии к абсциссе) и заметно различаются по коэффициенту a . Водоёмы морского типа имеют более высокие значения S/V , чем водоёмы океанические. Понятно, что более высокие значения S/V при прочих равных условиях обеспечивают лучший обмен веществ между водой и атмосферой. Такое различие биологу может показаться для водоемов “целесообразным”. Но какая может быть “цель жизни” у косных тел? Ее и у живых понять трудно. В общей форме такой вопрос вряд ли имеет смысл.

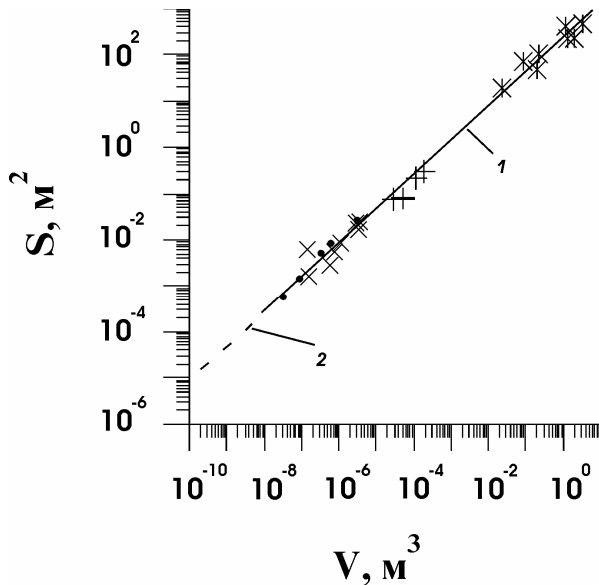
Расширим диапазон сравнения водных объектов, включив в него глубоко-водные океанические впадины и мелкие морские водоемы – литоральные ванны (рис. 9.3). Тренды, как видим, те же, но детали различны.

Обратимся теперь к живым телам биосферы – организмам. Генетически закрепленные видоспецифические, признаки растений известны. Это характерная для видов форма листьев и их рассечённость, морфологические особенности стеблей, строение цветков, семенных коробочек, плодов, семян. Все это различается у разных видов в широком диапазоне. Велики и фенотипические различия, связанные с локальными условиями обитания. Это создает впечатление уникальности каждого отдельно взятого вида и даже особи. Ботаникам, вероятно, кажется, что строгие геометрические формы в биологическом разнообразии тонут, а поэтому законы геометрии для описания растений непригодны, незачем к ним и обращаться.

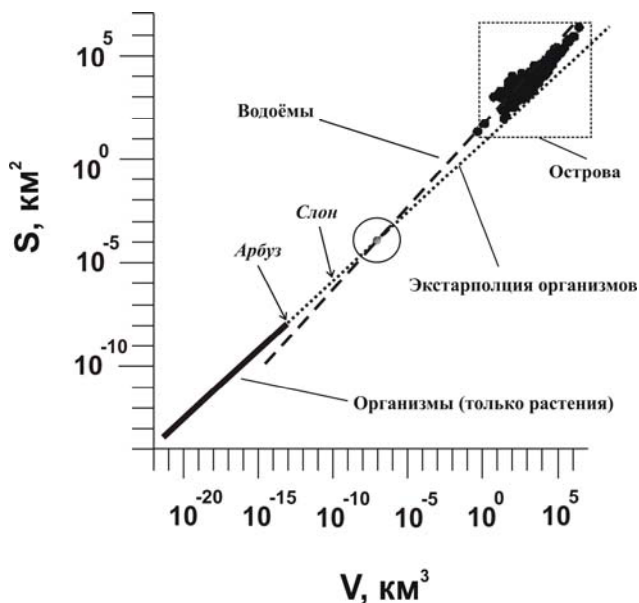
Так ли это? На рис 9.4 показано соотношение между площадью внешней поверхности растений, S , и индивидуальным геометрическим объемом тела, V (для организмов объём тела примем равным сырой индивидуальной массе). В выборку на рис. 9.4 вошли разные группы водных и наземных растений, характерные размеры, внешняя форма, разветвленность тела которых у разных видов широко различаются. Как следует из графика, соотношение площади внешней поверхности и объёма тела у разных растений закономерно, следует уравнению (1), а дисперсия в масштабе этого графика незначительна.

Здесь следует иметь в виду, что зрительно воспринимаемая вариабельность на графиках, всегда связана с их масштабом. Вариабельность слоевищ донных водорослей длиной до 5 метров (морские аларии и другие виды бывают гораздо длиннее) в масштабе небольшой морской бухты с площадью зеркала в 0.1 км^2 будет выглядеть довольно значительной (и в местном масштабе она реально важна), тогда как в общей метрике с морями и океанами вариабельность тех же водорослей пренебрежимо мала. Такова реальность громадной биосферы.

Чтобы оценить меру различия и сходства объектов косного и живого мира, соединим их по параметрам V и S в общей метрике. На рис. 9.5. косные твердые тела биосферного ранга представлены морскими островами (группа точек в квадратном контуре). Регрессия по этой группе переходит в длинную штрих-пунктирную линию, обобщающую водоемы и литоральные ванны, показанные на рис. 9.2 и 9.3. По названным параметрам острова и водоемы отвечают одинаковым условиям подобия. Не вполне подобна им по этим параметрам группа, в которую входят морские многоклеточные водоросли разных видов (жирная линия в левом нижнем углу графика). Как представитель наземных растений стрелками на линии отмечен арбуз, а как представитель мира животных – слон. Линия, обобщающая живые объекты, экстраполирована (точечно) в область крупных косных тел. Две эти линии – “косная” и “живая”, пересекаются в обведенной кружком *особой точке*. Эта точка сообщает о наличии на графике экологически важных интерпретаций. Действительно, в области размеров от 10^{-20} до 10^{-10} км^3 , соотношение между площадью индивидуальной внешней поверхно-



Дєñ. 9.4. Аїò єаєїаї ñїїòїїøáїєá іаңñů òáєá є áїáøїáє площади ñїááððїїñòє ðàçїůð ðаñoòáїєє – аçðїñєůð ááðááůáá (*), аçðїñєůð ñєїááєů єаїєїáðєє (+), ñєїáůð ñєїááєů áůá ãаїїаї áєáá ñðñєєð áїаїðїñєáє – аєаðєє (X), ðàçїůð áєаїá єóаїаůð òðáá (●) – єð аңñáð ãаїáůááð єєїєý 1. Øððєõїáý єєїєý 2 – ýєñòðаїñєýøєý єєїєє 1 á ãáєаñòů ãáєůð ðàçїáðїá – ññááůð ñòðóєóòð òєñїøїєðů.



Дєñ. 9.5. Њóуаңòáóáð єє ñáýçů ãáæáð ñððїєїáєáє єїñїůð òáє Çаїєє є ñððїєїáєáє ñðáаїєçїá? Áðáðєє ãá ýòї ðєñїøїá ñїєаçїáááð, òї áєаáїáá ñððїєїáє-áñєєá ãáðáїáðòů (V є S) ñðáаїєçїá, ññòðїáїá є áїаїáїá ñєїððáєєðїáаї ãáєаєїáаї ãáðàçї, òї ñїє á ýòї ñõїїøáїєє ñїаїáї, á ãá “ñðєїøєãáєуї ðàçєє-їů”. Ìє-áаї ãáðáаїєñáєуїаї ðáєїє áůаїа ãá ñїááððáєð. Áñá ñðєðїáїáá ãáááєòů ñã-єїýðõý ãáуєї çáєїáї ñðєðїáа, á õї ò-єñєá çáєїáї ýáєєєаїáїє áаїáððєє. Çááááý ãáðáá, ñєáæáї, òї єð ñїаїáєá ñїáðááðæáááðõý ðáєæá є ñїáðáїáїїє ðááєòáєуїїє áаїáððєáє. Ìїýõї, òї ñ áїєуøєїñòáð áðóáєð ò-єñєáїїůð ðáðáєðáððєñòєє є єá-áñòááїїůð ñðçїáєїá ñðáаїєçїá є єїñїáá áїаїáї ðàçєє-їů. “Ìðєїøєãáєуї ðàçєє-їů”? ×òїáа ñїєð-єòů ñòááð, ãааї ñðãáñòє ñїãááðñòáðóуєá єññєáаїáаїєý; ááááòů ñòááð “ãá áєáçїє” ãє á єїáї ñїєð-áá ãá ñєááóáð.

сти и массой (S/W) растений идеально соответствует их главной функции – фотосинтезу (см. лекции пятой темы). Арбузу собственный фотосинтез не требуется, он растет за счет своих листьев на той же плети. Индийскому слону на фотосинтез водорослей в Черном море вообще наплевать; он наземными растениями кормится и за счет усвоенной ими солнечной энергии живет и передвигается по Индии. Примечательно, что слон на графике близок к особой точке в кружке. Правее и вверх от особой точки растения становятся энергетически невозможными. После особой точки начинаются, как кому-то ни удивительно, крохотные, со спины слона, водоемы и островки, внешняя поверхность которых им функционально не нужна. Острова сглажены, большая часть их геометрического объема лежит вблизи поверхности воды. Масса им функционально важнее. Как видим, все у Главного устроено по науке, а нам – только учиться у природы и любоваться.

* * *

В начале лекции был поставлен вопрос: имеется ли важное для науки **родство** между косным и живым миром, между биоморфологией и геоморфологией? Подведём итог обсуждению.

1) Вопрос о различии *или* сходстве косного и живого миров был когда то поставлен в ошибочной логике. Они *и* различны, *и* подобны, вопрос лишь в мере их различия и подобия. Поэтому косные и живые тела биосферы не только “ошибочно” и “методологически недопустимо” между собой сопоставлять, сравнивать, но это необходимо делать, поскольку **таким путем можно объективно оценить меру их схождения и различия**. Качественные суждения о сходстве и различии природных объектов ведут к ложным выводам.

2) Закономерное соотношение двух фундаментальных морфологических параметров – геометрического объёма и площади внешней поверхности, присуще всем вещественным земным телам. У растений и животных это также **проявление их биогеохимического и биогеофизического родства с косным миром; живые и косные тела имеют в каком то смысле общее происхождение, геометрию, и общую коэволюцию**. А также это позволяет говорить о *биогеоморфологии* в том же смысле, в котором В.И. Вернадский образовал понятие *биогеохимия*, мировой наукой давно и широко принятое.

3) На фоне действия общих законов формообразования, специфические особенности внешних форм и очертаний играют вторичную, корректирующую роль. В мире живых тел это проявляется в форме корректирующей адаптации к локальным условиям обитания, а математически – в виде дисперсии по отношению к закономерным трендам. В размерных рядах географических объектов дисперсия отражает локальные геоморфологические различия объектов, особенности местного рельефа. В размерных рядах организмов дисперсия по отношению к закономерным трендам отражает прежде всего меру их приспособленности к самой важной для жизни внешней переменной – потоку солнечной энергии. Вот бы какие адаптации биологам в первую голову изучать. И была бы тогда такая наука – фотобионика. И были бы мы все более готовы (когда нефть и газ полностью из биосферы выйдем) выживать за счет энергии Солнца. Очень прав Михаил Борисович; Ходорковский, конечно.

Лекция 9.2. Водообмен в косных и живых объектах биогидросферы

1. Водные объекты в метрике биогидросферы
2. Соотношение сухого вещества золы и фосфора в составе косных и живых тел биогидросферы

1. Водные объекты в метрике биогидросферы

Глядя на карту мира, воочию видим, что вода – самая обширная часть общей поверхности Земли, около $\frac{3}{4}$. По общему геометрическому объему континенты Земли (в той их части, которая лежит выше уровня воды) и океаны по порядку величин примерно равны. В составе живых организмов вода по массе и объему преобладает, составляя в среднем тоже около $\frac{3}{4}$ (от 95 в некоторых морских водорослях до 7 % в сухих, но жизнеспособных семенах растений).

Во всех открытых водных системах, будь то озёра и моря, одувачики и куры стационарное (в динамическом равновесии) содержание воды удерживается в сравнительно узком диапазоне, а её обновление происходит постоянно. Приход и расход в совокупности составляют *водообмен*. Обозначим стационарный объём воды в объекте символом V , а скорость притока воды $\Delta V/t$, где t – время. Рассчитаем также интенсивность водообмена: $\mu = \Delta V/V \cdot t$. Обратная величина, $1/\mu$ – это время полного оборота воды в объекте, а курица это, или озеро, принципиального значения не имеет.

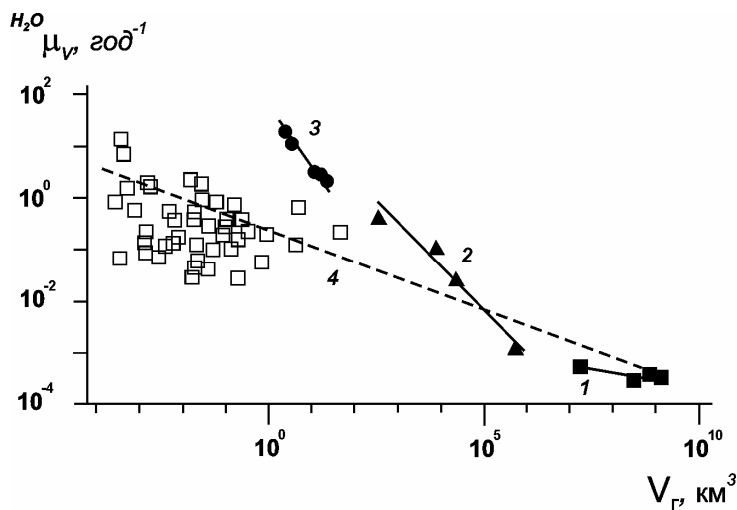


Рис. 9.6. Соотношение геометрического объема, занимаемого водой (V_r), и интенсивности водообмена (μ_{H_2O}) в водоемах разного типа (стационарное состояние): 1 – океаны, 2 – моря, 3 – водохранилища, 4 – озера.

Понятно, что чем больше объект, тем больше он потребляет воды. Нам важно выяснить каков оборот воды по отношению к её стационарному объёму, т.е. оди-

наково ли изменяется μ в размерных рядах косных и живых объектов, например, озёр и кур, морей и одуванчиков каким либо *закономерным* образом? Или же моря и одуванчики (куры и озёра) настолько каждый по-своему специфичны, уникальны, что общих законов водообмена у них “принципиально” не может быть?

Вопрос может показаться пустым и надуманным. Однако, он вполне серьезен и без научного исследования не обойтись. Впрочем, все это давно изучено и нам остается только узнать результат. Один ответ был найден в географии, при изучении размерных рядов водоёмов. Биологи изучали водообмен в размерных рядах организмов. Те и другие работали раздельно - биологи не заглядывали в книги географов, а географы в книги биологов, полагая, что это науки о разном, и сравнивать водоёмы и организмы незачем. Полученные теми и другими результаты будем сравнивать, начав с водоёмов разного размера.

На рис. 9.6 показано соотношение μ и V в небольшой выборке водоёмов, куда входят представители группы океанов, морей, озёр и несколько рукотворных объектов – водохранилищ. Как следует из графика, имеются признаки как закономерных соотношений (особенно между океанами и морями), так и различия (особенно в группе озёр, где большая дисперсия указывает на преобладание различий при весьма сомнительном тренде). Ниже, будут показаны более надежные результаты, полученные в широком размерном диапазоне озёр.

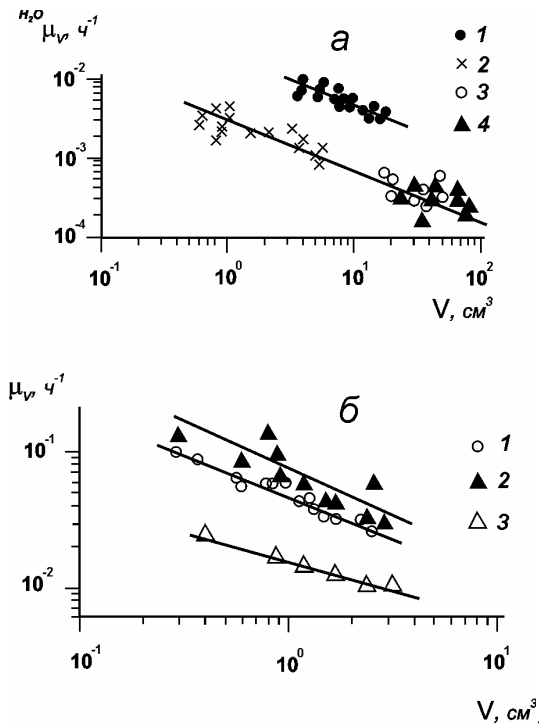


Рис. 9.7. Соотношение стационарного объема воды (V) и интенсивности водообмена ($^{H_2O}\mu_v$) в стеблевых тканях высших и низших растений, в плодах и запасающих органах высших растений:

(а) – плоды и запасающие органы высших наземных растений: 1 – плоды ореха грецкого, 2 – ягоды винограда культурного, 3 – помидоры, 4 – клубни картофеля;

(б) – цветonoсные стебли ириса садового: 1 – до цветения, 2 – во время цветения, 3 – после цветения

Гораздо более определенным образом соотношение μ и V складывается в размерных рядах сочных плодов растений (9.7 а). На графике показан водообмен в разных плодах и корнеплодах. Это молодые завязи грецких орехов, ягоды винограда, зрелые помидоры и крупные, тоже вызревшие клубни картофеля. Растения, на которых они выросли, различающихся по общей разветвлённости и по рассечённости листьев, а плоды и корнеплоды, напротив, имеют округлые формы, но разный индиви-

дуальный объем. На графике замечаем явные закономерные тренды μ по V , которые могут быть описаны уравнением:

$$\mu = a V^{-b}, \tag{1}$$

где a и b коэффициенты, характеризующие положение линии регрессии в поле двух переменных. Из графика следует, что интенсивность водообмена у молодых завязей грецкого ореха в несколько раз выше, чем в зрелых ягодах винограда, в помидорах и клубнях картофеля. На рис. 9.7 б видим аналогичное соотношение в цветonoсных стеблях садового ириса на разных стадиях их формирования. Как следует из графика, по мере старения стеблей ириса интенсивность водообмена в них существенно снижается, что вполне естественно. Нам важно отметить, что на обоих графиках закономерные тренды явно преобладают над дисперсией.

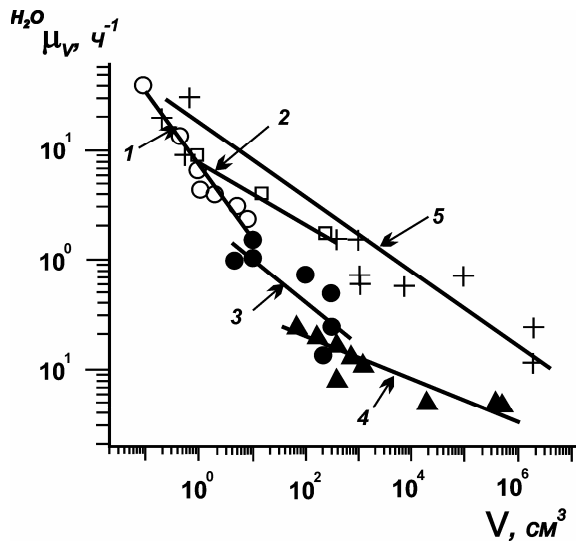


Рис. 9.8. Соотношение стационарного объема воды (V) и интенсивности водообмена (μ_{V, H_2O}) у водных и наземных животных: 1 – мидии; 2 – морские гребешки; 3 – пресноводные рыбы; куры, собаки, лошади; 4 – в проточных аквакультурных системах.

Сравним теперь интенсивность водообмена в размерных рядах разных таксономических (моллюски, рыбы, птицы) и экологических (водные и наземные) групп животных (рис. 9.8). Прежде всего, находим, что тренды согласно уравнению (1) соблюдаются во всех группах и не “забываются” дисперсией, хотя она значительна. Различны у разных групп животных и углы наклона регрессий к абсциссе (значения коэффициента b в уравнении водообмена). Заметим, что в диапазоне одинаковых значений объема живого тела интенсивность водообмена у мидий и рыб на 1 – 2 порядка величин выше, чем у кур, собак и лошадей.

Заметим, что на рис. 9.8 приведены данные о водообмене не только в живых телах, но и в культиваторах для водных животных (в проточных бассейнах для рыб и водных беспозвоночных). Они следуют той же закономерности.

Наконец, войдём внутрь живых тел и проследим за водопроводящими органами растений и животных. Сосуды – это трубки разного диаметра и длины. Каждый тип сосудов имеет свой характерный объем, V , и известна скорость, ΔVt , протока жидкостей (крови у животных и воды у растений). На рис. 9.9 показано соотношение μ и V для крови в сосудах головного мозга собаки, и в более крупных сосудах внутренних органов тела. Соотношение (1) выполняется и здесь. Для сравнения на том же рисунке показаны значения интенсивности водообмена, при прохождении воды через

фильтрующие органы планктонных рачков, удерживающие взвешенные в воде пищевые частицы (напомним, что рачки питаются одноклеточными водорослями, которые они отфильтровывают из воды; это не та вода, которая поступает в ткани тела; понятно, что её необходимо во много раз больше, чем поступает непосредственно в живые ткани).

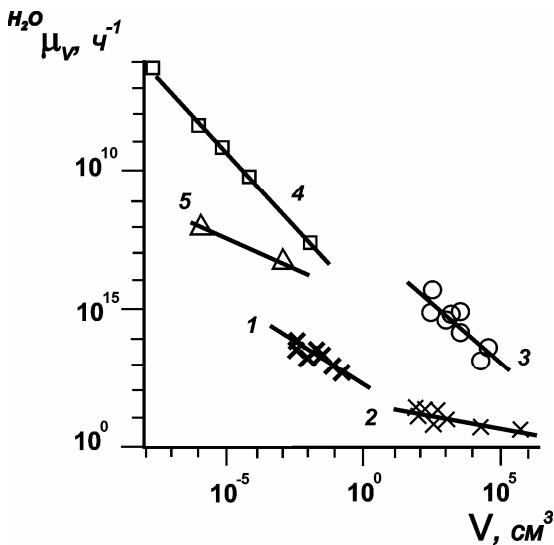


Рис. 9.9. Соотношение стационарного объема воды (V) и интенсивности водообмена (μ_v) в тканях морской водоросли аларии (1), в телах наземных животных (2), в кровоснабжаемых органах человека (3) и в кровеносных сосудах мозга собаки (4). Для сравнения регрессия 5 показывает объемную интенсивность фильтрационного водообмена у морского зоопланктона

Водообмен важен ещё и потому, что с ним связан общий метаболизм и минеральный обмен как в организмах, так и в водоёмах. Вместе с водой и кровью в организме циркулируют необходимые для жизни растворенные минеральные соли, растворенные органические вещества и газы, в том числе поступает кислород и удаляется накопившаяся в тканях животных токсичная углекислота и другие молекулярные продукты жизнедеятельности. Поэтому соотношение (1) касается обмена многих веществ. То же и в водоёмах.

Ещё одно важное смысловое значение уравнения (1) состоит в том, что для всех объектов, показанных на рис. 9.7 – 9.9, линии регрессий отражают скоррелированную с объёмом водного пула **скользящую норму интенсивности водообмена**, а дисперсия – это **отклонения от групповой нормы** у отдельных объектов данного множества. Понятно, что если выборка мала, относится к небольшой локальной группе совместно обитающих организмов, то численные значения коэффициентов в уравнении (1) показывают “норму”, относящуюся только к условиям жизни данной локальной группы. В других условиях жизни коэффициенты *a* и *b* будут иметь иные значения (на рис. 9.7 *b* показано, что по мере старения стеблей садового ириса интенсивность водообмена в них существенно снижается; это отражается в уменьшении коэффициента *a*). И напротив, если выборка по тому или иному виду растений или животных охватывает разные – трофические, климатические и прочие условия обитания, то значения коэффициентов уравнения будут отражать “универсальную норму” по соотношению μ и V для данного вида.

Вода абсолютно необходима для жизни любого организма. От соблюдения баланса прихода и расхода воды зависит жизнедеятельность. Снижение или повышение (в сравнении с нормой) интенсивности водообмена у человека – признак заболевания. Но удивительное дело, в школьных учебниках по биологии о воде в составе живых тел сообщается только то, что она в них есть и её недостаток опасен для жизни. Но различается ли интенсивность водообмена у растений и животных, живущих

рядом друг с другом на суше? А у живущих в воде и на суше различается? Есть ли смысл сравнивать интенсивность водообмена в теле человека и, например, в Атлантическом океане? Не только ответов, но даже таких вопросов в учебниках по общей биологии (или физической географии, если речь о водоёмах в биогидросфере) не найти.

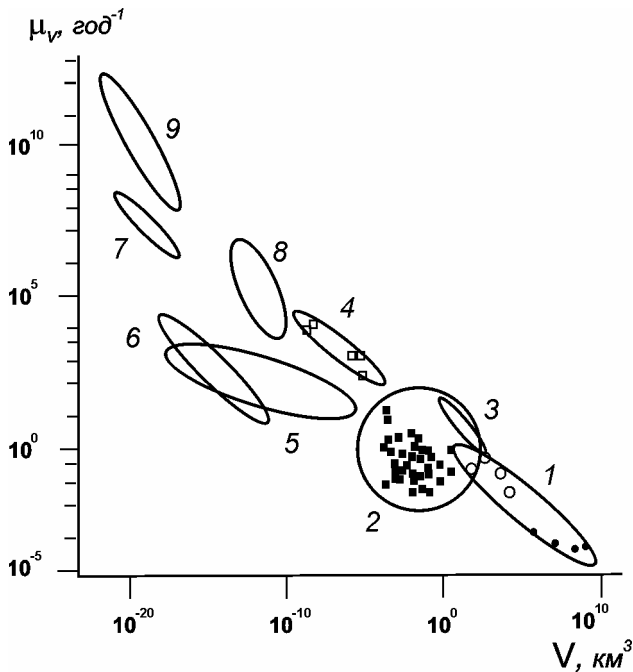


Рис. 9.10. Соотношение геометрического объема биокосных систем (V) и интенсивности водообмена ($^{H_2O}\mu_V$) на разных уровнях организации биогидросферы. 1 – океаны и моря, 2 – пресноводные озера, 3 – водохранилища, 4 – проточные культиваторы с морскими водорослями, 5 – тела домашних животных – лошадей, собак, кошек, кур и рыб, 6 – стеблевые ткани растений, 7 – фильтрующие планктонные ракообразные, 8 – органы тела человека, 9 – кровеносные сосуды мозга собаки. Водообмен рассчитан по питьевому рациону (5), по потере воды в лабораторных экспериментах (6), по объему фильтруемой воды (7), по медицинским данным о движении крови (8 и 9).

Проследив, как соотношение μ и V соблюдается в разных типах природных и рукотворных (аквариальные системы) объектах, уместно сопоставить их в общей метрике. На рис. 9.10 такое обобщение выполнено. На абсциссе графика показан индивидуальный геометрический объем ($V \text{ км}^3$) водоемов, организмов и водных биокультиваторов (это те же объекты, что на рис. 9.7 – 9.9). На ординате графика – интенсивность водообмена, μ (здесь эта величина показывает сколько *раз в год* вода обменивается в каждом данном объекте).

По полноте охвата природных объектов метрика на рис. 9.10 охватывает все основные биокосные объекты **биогидросеры**. По значениям V диапазон биогидросферы лежит в пределах от 10^{-22} до 10^8 км^3 , что составляет примерно 30 порядков. В график на рис. 9.10 включены все объекты, показанные на рис. 9.6 – 9.9. Как видим, все они выстраиваются в мега-структуру, состоящую из отдельных кластеров. Тренды, отвечающие уравнению (1), соответствуют группам разных объектов. Дисперсия во всех случаях кроме одного (небольшая группа озёр) меньше, чем длина самих

трендов. Выборка охватывает объекты нескольких уровней организации природы. На организменном уровне это ткани, органы и целые тела животных. Надтелесные (экологические) уровни организации представлены небольшими культиваторами для гидробионтов и природными водоемами вплоть до морей и океанов.

На рис. 9.11. показана вытекающая из рис. 9.10 связь интенсивности водообмена с величиной удельной поверхности той же выборки водных биокосных объектов.

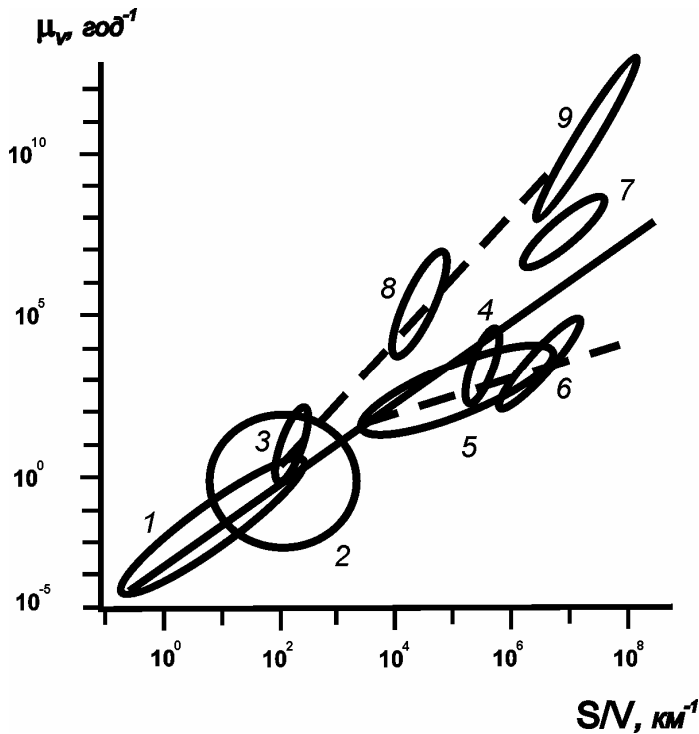


Рис. 9.11. Связь удельной поверхности (S/V) и интенсивности водообмена ($^{H_2O}\mu_V$) на разных уровнях организации биогидросферы (объекты и обозначения те же, что и на предыдущем рисунке). Сплошная линия проведена по данным о водообмене в океанах, морях, озерах, и экстраполирована в зону S/V организмов, их органов и тканей. Верхняя штриховая линия обобщает водообмен крови в органах человека и кровеносных сосудах, нижняя штриховая линия обобщает водообмен в телах животных и растений.

Соотношение и взаимное положение регрессий указывают на то, что **био-гидросфера эволюционировала как единое целое, с водообменом по общей закономерности для всех частей от океанов до кровеносных сосудов в телах животных, не только обитающих в воде** (соотношение μ и V на рис. 9.9 было показано на примере сосудов головного мозга собаки).

Всем изучавшим биологию в средней школе известно, что повышение организации живых тел в их эволюции объясняется действием естественного отбора, адаптаций к среде обитания. Ко всей совокупности телесных и надтелесных объектов биогидросферы такая интерпретация неприменима. В этих лекциях уже не раз отмечалось, что в надтелесных объектах типа экосистем, биокультиваторов законы наследственности и её изменчивости не могут играть сколько-нибудь значимой роли.

Конкуренция между такими объектами отсутствует, естественного отбора среди них наука не знает. Искусственный отбор возможен, но до появления человека, т.е. в период формирования физического облика Земли и её поверхности искусственного отбора не было, а геологическая эволюция шла.

Как глобальная картина водообмена, так и частные тренды показывают, что при всём многообразии форм, внешних контуров, при всем разнообразии внешних переменных, **главную роль в формировании структурно-функциональной организации биогидросферы** (в данном случае по водообмену в разных её подразделениях) **играют общие физические и геометрические законы**. В системе же образования основное внимание направляется на изменчивость частных внешних и внутренних переменных, которые на фоне трендов выступают как факторы вторичные, корректирующие основные законы применительно к локальным условиям.

2. Соотношение сухого вещества золы и фосфора в составе косных и живых тел биогидросферы

Известно, что в природных водах содержатся все химические элементы, необходимые для жизни водных организмов, в том числе самые главные – углерод, азот и фосфор. Они имеются там как в форме молекулярно растворенных веществ, так и в форме мелких живых организмов, служащих пищей фильтраторам. Поскольку питательные вещества гидробионты получают главным образом из воды, закономерности водообмена, как тканевого, так и фильтрационного, в значительной мере определяют обмен химическими элементами. Не будем поэтому повторять по отношению к химическим элементам всё сказанное выше о водообмене. Рассмотрим результат потока воды через водоёмы и организмы – стационарное содержание в организмах и водоёмах зольных элементов и фосфора.

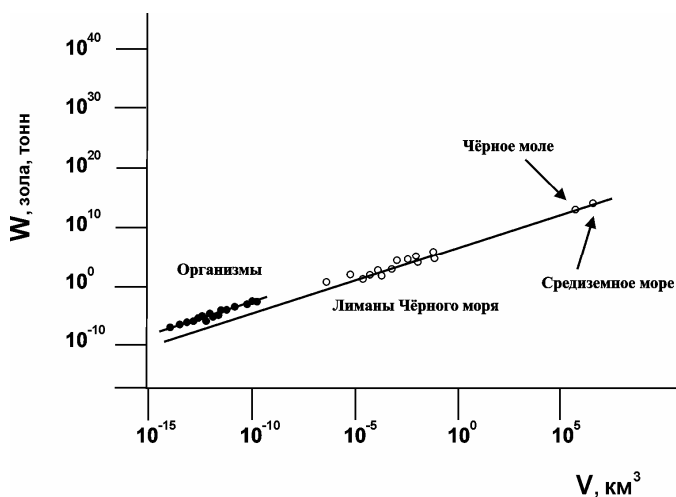


Рис. 9.12. На этом рисунке показана коррелятивная связь между геометрическим объемом разнообразных водных объектов и общей массой зольных веществ в них. Сравнивается ряд типичных водных экосистем и ряд водных организмов. По соотношению этих характеристик между водоемами и организмами принципиальной разницы нет. Границы между экосистемами и неэкосистемами весьма условны.

На рис. 9.12 показано соотношение между геометрическим объёмом объектов и общей массой W зола (в тоннах) в составе тел водных организмов (в эту группу вошли разные виды рыб и беспозвоночных) и в водных массах лиманов и морей (лиманы приморской части одесской области и два южных моря – Черное и Средиземное). Как следует из графика на рисунке, организмы и водоемы располагаются вблизи обобщающей линии, которая описывается уравнением:

$$W_{\text{зола}} = aV^b. \quad (2)$$

Следовательно, по соотношению $W_{\text{зола}}$ и V водоёмы и водные организмы, вошедшие в выборку подобны, а дисперсия отражает экологическую и биологическую специфику тех и других. Понятно, что закономерности (1) и (2) взаимосвязаны и взаимообусловлены.

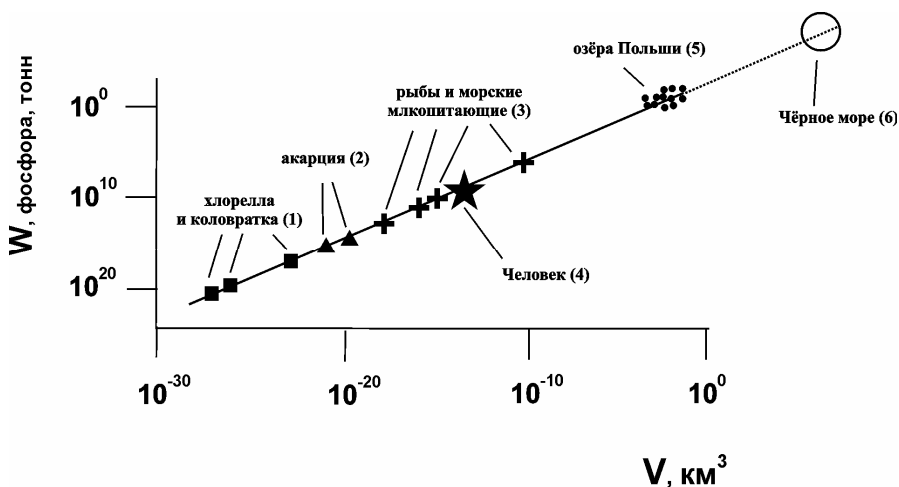


Рис. 9.13. Зависимость общей массы фосфора в телах отдельных организмов и экосистемах от их объема. Наличие общей закономерности свидетельствует о том, что между экосистемами и организмами существует гораздо большее подобие, чем представляется. Разумеется, можно назвать огромное количество свойств, по которым организмы и водоемы различны, что и позволяет биологии и экологии относить их к разным типам природных тел. Но в какой же мере биогеохимии вправе объединить их в один неразделимый класс биокосных систем.

На рис. 9.13 видим аналогичное соотношение между геометрическим объёмом объектов и общей массой фосфора в них. В эту выборку вошли хлорелла, коловратки, рачки акарции, рыбы и морские млекопитающие, а также группа озёр Польши с общей массой фосфора в них. Для сравнения на общей линии показано содержание фосфора в теле человека. Как и в предыдущем случае, наблюдаемое на графике соотношение описывается уравнением (2). На основании (1) и (2) можно рассчитывать закономерно изменяющееся в размерном ряду соотношение зола и фосфора.

В.И. Вернадский часто обращался к *концентрационной* функции живого вещества в биосфере, отмечая накопление биологически важных химических элементов в составе *живых тел*. Из рис. 9.12 и 9.13 следует, что концентрационная функции по отношению к химическим элементам в организмах и водоёмах проявляется единообразно. Концентрационную функцию Вернадский усматривал также и по отношению к организмам: не только молекулы биогенных веществ в организмах, но и они

сами в биосфере концентрируются, агрегируют, образуя разнообразные сгущения, слои, пленки, пятна.

* * *

Ясно, что для понимания разнообразной динамики воды в водоёмах и организмах этой лекции совершенно недостаточно. Ограничимся немногим:

1) Организмы в масштабе биогидросферы – это “микроводоёмы”, поскольку воды в них больше всего остального, причем её объем строго отмерен по массе биологического вещества (по “сухой массе” организмов).

2) Биогидросфера Земли не разделена на две “качественно”, “принципиально” разные сущности – организмы и водоёмы. Как и предполагал В.И. Вернадский, существует единый бикосный ряд, по его выражению, “естественных тел”. Это доказывается фактом однозначной скоррелированности геометрического объема *водных масс* в размерных рядах водоемов и организмов с *интенсивностью водообмена* в них и диапазоне многих порядков величин по μ по V .

3) На фоне закономерных трендов μ по V , и по содержанию зольных веществ и фосфора в водоемах и организмах наблюдаются специфические особенности отдельных объектов – результат корректирующих адаптаций организмов и водоемов к локальным условиям существования тех и других. Эти особенности наглядно выступают в виде дисперсии соответствующих характеристик. В группе водоёмов дисперсия отражает особенности геоморфологии, рельефа местности. В группе организмов это разные адаптивные особенности биоморфологии.

4) Эта лекция дала дополнительные аргументы в пользу тезиса о фундаментальном подобии первичного Гео (по крайней мере в условиях Земли) и вторичного Био, но лишь по отдельным парам базовых характеристик. Огромное разнообразие частных характеристик водоёмов и организмов открывает широчайшие возможности для проявления специфики косных и живых объектов, подробные описания которой наполняют учебники наук о Земле и наук о жизни. Так ли уж важно всё это учащимся запоминать?

Лекция 9.3. Объемная плотность распределения «живого вещества» и ее формирующие и корректирующие регуляторы

1. Размытые биоэкологические множества
2. Биогенные и геогенные обитаемые пространства

1. Размытые биоэкологические множества

Со второй половины XX века понятие “размытые множества” стало в мировой науке общепринятым. Объекты такого типа рассматриваются целым рядом научных дисциплин и учебных предметов, начиная с математики и физики, до астрофизики и лингвистики. Одним из первых исследователей этого обширного класса стал американский математик и системолог Л. Заде (1976). Подробнее можно прочесть, например, в книге (Флейшман, 1982, с. 19, 55).

Самые массовые размытые множества надтелесного типа – локальные ценопопуляции и сообщества. Самые массовые размытые множества телесного типа – кроны и пологи растений. Действительно, все деревья имеют кроны. Отдельные ветви, выступающие из общего контура дерева, придают кронам “размытый” вид. В таком же смысле размыты кроны развесистых травянистых растений и многоклеточных водорослей. Сюда же относятся раскрывшиеся цветки и соцветия. Правда, у некоторых травянистых растений кроны отнюдь не очевидны. Например, имеют ли кроны злаковые растения? Какова “крона” кактусов с их иглами на компактном теле? О какой “кроне” можно говорить по отношению к стелящимся растениям, например, плетям огурцов, арбузов, дынь, или в случае вьющихся вверх лиан? Многие ботаники убеждены в том, что большого научного интереса кроны растений не представляют. Напрасно; практика современного растениеводства, особенно садоводства и паркового хозяйства такое негативное мнение опровергает.

Научно-познавательную глубину крон, как размытых множеств, подтверждает и тот факт, что они имеют хорошо оптимизированную структуру, физической и эволюционной основой которой служит телесная организация растений. Как телесное пространство растений разделено на ткани и органы, так и пространство кроны разделено на отсеки, занимаемые отдельными побегам, ветвями, соцветиями, цветками и семенам, лежащим в семенных коробочках. О кроне дерева можно сказать, что это иерархия размытых множеств. Сколь бы нечеткими такие объекты ни казались, используя соответствующие геометрические формулы, можно на основе промера кронных пространств вычислять их геометрический объем, и площадь внешней поверхности и другие характеристики. Геометрия фитосистем разного уровня организации в связи с их конкретной морфологией и физиологией, т.е. функциональная морфология растений подробно рассматривалась в лекциях 5.1 – 5.3; см. также (Хайлов и др. 1992, Хайлов, Празукин, 2008, Празукин, 2000, 2003, 2005, 2007, 2008 а,б).

Постепенный переход от *компактного тела*, например, почки каштана (тесный объем V_n), к соцветию – *надтелесному объекту первого порядка* (V_{n+1}) показан на рис. 9.14. На рис. 9.15 показаны наземные и водные надтелесные фитосистемы более высокого порядка (V_{n+k}) – природные и рукотворные. Это пологи леса, луговых трав, разных сельскохозяйственных культур и аналогичные водные фитосистемы. Нижняя граница пологов – поверхность земли. Высоту полога можно определить по средней высоте растений. Как и кроны, растительные пологи кажутся весьма нечет-

кими. Тем не менее, геометрический объём и площадь внешней поверхности S любого полого может быть вычислена на основе измерений его площади на поверхности земли и средней высоты растений. Каждому отсеку обитаемого пространства соответствует определенная масса растений, что позволяет для всех уровней организации (n , $n+1$ и $n+2$ и любых других) вычислять необходимые численные характеристики.

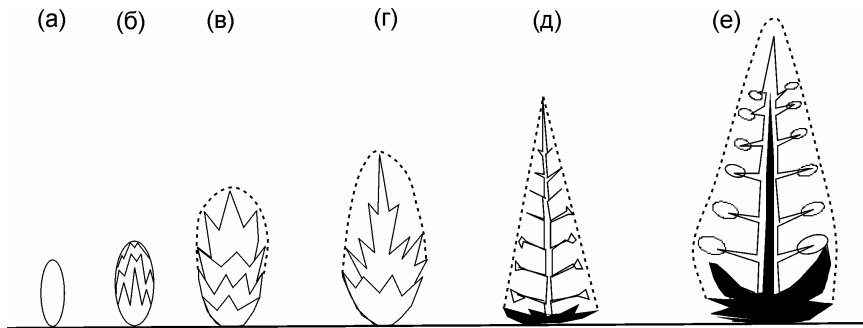


Рис. 9.14. Схема внешних морфологических форм от спящей цветочной почки каштана до раскрывшегося соцветия. Рисунок иллюстрирует постепенность происходящего в процессе роста перехода от телесного уровня организации - почки с внутренними воздушными полостями к надтелесному уровню организации с воздухом во внешнем обитаемом пространстве (в пределах штрихового контура).

а, б - компактные молодые почки без видимых воздушных полостей; в - наблюдается дифференциация внешних чешуи, между ними появляются видимые зазоры; штриховая линия показывает начало формирования надтелесного уровня организации этой биокосной фитосистемы; г - дифференциация продолжается, намечается условная геометрическая граница и контур, очерчивающий надтелесный живой объект (штриховая линия); д - почка раскрылась настолько, что напоминает соцветие с телесным и надтелесным уровнями организации; е - соцветие приобретает характерную для каштана форму конуса, стоящего на дереве вертикально как свечка; все цветки теперь раскрыты, телесная и надтелесная части полностью сформированы.

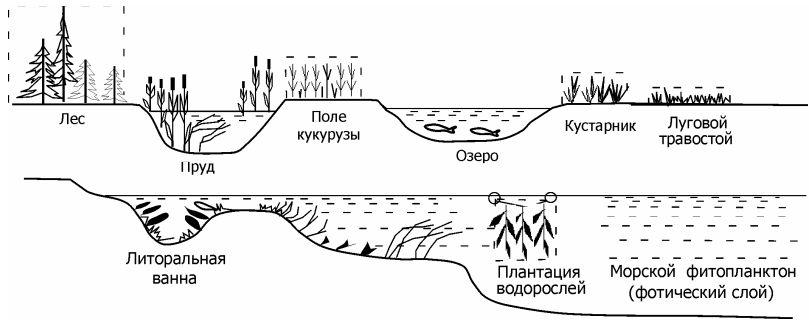


Рис. 9.15. Схема, показывающая ряд наземных и водных биокосных фитосистем. Все они имеют занимаемую ими площадь земной поверхности и общую массу обитающих на ней наземных или водных растений.

На рис. 9.16 показана скоррелированность между, с одной стороны, сухой общей массой W растений и, с другой стороны, содержанием в кронах и пологах воздуха (верхний график) и воды (нижний график). Как видим, объем воздуха и воды в

надтелесных пространствах закономерно коррелирует с живой массой в данном отсечке:

$$V_k = a W^b \tag{1}$$

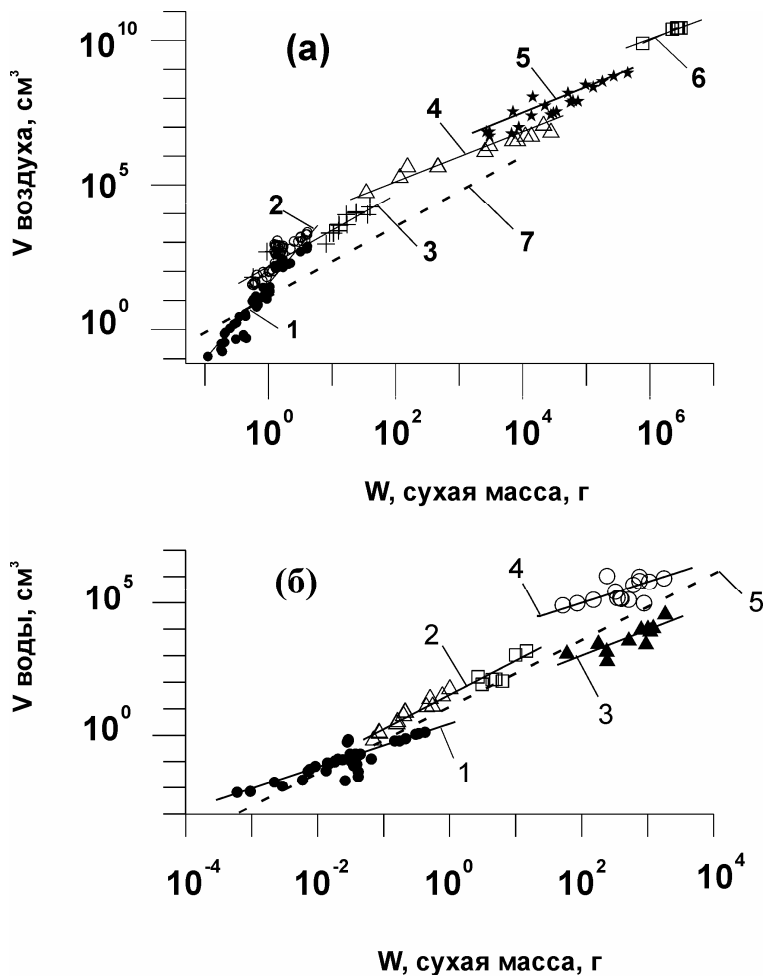


Рис. 9.16. Соотношение сухой массы растений (W) в обиталище и его геометрического объема (V_k) в размерном ряду наземных (а) и водных (б) биокосных фитосистем.

Наземные фитосистемы: 1 - воздух в раскрывающихся почках и нераскрытых соцветиях каштана конского (●), 2 воздух в раскрытых соцветиях каштана (○), 3 -воздух в кронах медвежьего уха (⊕), 4 - воздух в пологах кукурузы (Δ), 5 - воздух в кронах разных видов деревьев (★), 6 - воздух в пологах леса (□). 7 - регрессия, перенесенная с рис. 86, обобщающая водные биокосные фитосистемы. Водные фитосистемы: 1 - вода в тканях морской водоросли цистозир, телесный уровень организации, 2 - вода в ветках и кронах молодой цистозир (Δ) и в кронах взрослой цистозир (□), 3 - вода в кронах крупных слоевищ асколфиллума, 4 -вода в пологах ламинарии, растущей на на камнях. 5 - обобщающая регрессия.

На фоне общего правила каждая группа объектов имеет собственные значения коэффициентов a и b . Линия 1 на рис. 9.16 *a* обобщает набухающие почки и раскрывающиеся соцветия каштана конского с воздушными полостями в почках и воздухом в объеме каждого отдельно взятого соцветия; линия 2 – раскрывшиеся соцветия каштана с воздухом в пределах геометрического контура соцветий (позиции *d*, *e*); линия 3 – воздух в кронах травянистых растений “медвежье ухо” высотой 40 – 70 см; 4 – пологи кукурузы в сельскохозяйственном посеве; 5 – кроны деревьев высотой от 3 до 8 м.

На рис. 9.16 *б* показано аналогичное соотношение между объемом воды и сухой массой в тканях, кронах и пологих морских донных многоклеточных водорослей из прибрежной акватории. Связь между W и объемами надтелесного обитаемого пространства описывает уравнение (1). Линия 1 – объем воды в тканях морской водоросли цистозир (Черное море); линия 2 – вода в объеме веток и крон молодых слоевищ цистозир; 3 – вода в кронах крупных слоевищ аскофиллума (Баренцево море); 4 – вода в пологих ламинарии; 5 – обобщающая регрессия (эта штриховая линия перенесена для сравнения на рис. 9.16 *б*; сравнение показывает, что в наземной среде при одинаковых значениях W обитаемый объем примерно на порядок выше, чем в морской среде).

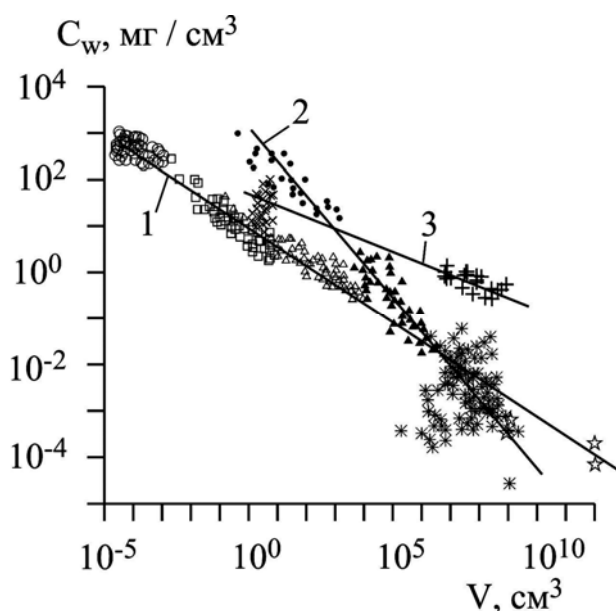


Рис. 9.17. Соотношение концентрации живого вещества (C_w) и объема (V) обитаемых пространств в размерном ряду биокосных систем. Условные обозначения: 1 – ткани морской водоросли цистозир (\bigcirc), ветви цистозир (\square), целые слоевища цистозир (\triangle), озера (\ast), фотический слой Азовского и Черного морей с сообществами фитопланктона (\star); 2 – подводные заросли (пологи) морских многоклеточных водорослей на ровном скальном дне (\bullet), то же на подводных камнях и валунах (\blacktriangle); 3 – полог луговых трав (\times) и кроны деревьев ($+$).

Составители школьных учебников по ботанике тему крон и пологов, как обитаемых пространств растений, никогда не обсуждают. В учебниках по общей биологии обитаемые пространства как важная общебиологическая и экологическая категория также не рассматриваются. Важная общенаучная категория природоведения XXI века – размытые вещественные множества из учебной сферы выпадает.

2. Биогенные и геогенные обитаемые пространства

Надтелесные системы типа крон и пологов их живые хозяева обитаемый объем V отмеривают себе сами, по своей массе, W . Норные животные по той же мере роют себе подземные обиталища – норы, птицы строят гнезда, а люди жилые комнаты и дома. Такие объекты уместно называть *биогенными*. Другой, не менее распространенный путь обретения организмами обитаемых пространств – использование пригодных для жизни естественных, *геогенных* вместилищ. Главные природные вместилища жизни – океаны, моря, озера, а на суше – континенты и острова. Возникает поэтому вопрос: соблюдается ли в геогенных вместилищах закон, согласно которому между объемом обитаемого пространства и общей массой его обитателей многовидовой биотой закономерная связь, как в кронах растений? А если такая связь существует, то соблюдается ли в них соотношение (1), или каждый геоморфологический объект уникален и живёт по своим правилам?

Рис. 9.17 показывает закономерное снижение концентрации, C_w живого вещества (W) с увеличением объема обитаемого пространства по уравнению:

$$C_w = a (V_k)^{-b}. \quad (2)$$

Объекты группируются следующим образом: в группу 1 входят многоклеточные водные и наземные растений в их кроновых пространствах, а в группу 2 – деревья в их кронах и ламинария в пространстве плантаций разного кубического объема. Разное положение регрессий 1 и 2 в метрике обоих графиков отражает биоэкологическую специфику двух групп объектов.

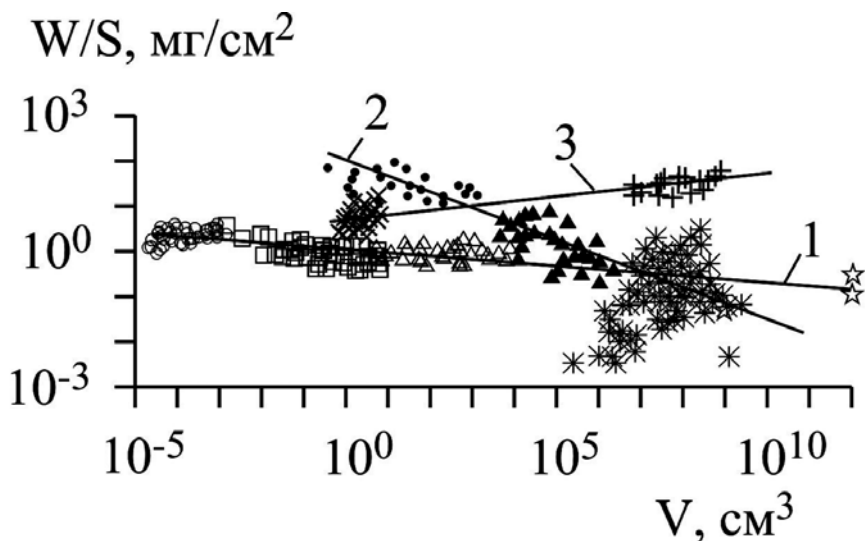


Рис. 9.18. Соотношение количества живого вещества на единицу поверхности системы (W/S) и объема (V) обитаемых пространств в том же ряду биокосных систем, что на рис. 9.17. Обозначения те же.

Из графика на рис. 9.17 следует, что по соотношениям (2) между фитосистемами геогенного, биогенного и антропогенного (плантации водорослей) происхожде-

ния нет принципиальных различий. Равным образом нет принципиальных различий между живыми телесными объектами (ткани и тела растений) и объектами надтелесными, экологическими.

Естественно возникает вопрос: как в размерном (по обитаемому объёму) ряду биоэкологических объектов изменяется концентрация живого вещества на единицу площади занятой объектом поверхности, S ? По тем же данным, по которым на рис. 9.17 было показано соотношение C_w и V_k , на рис. 9.18 показано соотношение между V_k и W/S . Как следует из графика, те же три регрессии расположены под небольшими углами к абсциссе. При различии в 17 порядков по объёму обитаемых пространств, различие по W/S укладывается в четыре порядка величин, а в обширной группе многоклеточных растений вместе с фитопланктоном в озёрах и двух морях, Азовском и Черном, значения W/S составляют всего около двух порядков.

* * *

Резюмируя, скажем, что плотность распределения живого вещества растений, рассчитанная на единицу поверхности Земли, стабилизируется в сравнительно узком диапазоне. И это при всех различиях в климатических, гидрохимических и гидрофизических условиях обитания. Такой вывод соответствует выводу, который был сделан ранее: индивидуальная и групповая масса растений, с одной стороны, и геометрические параметры (объём, площадь поверхности), с другой стороны, настолько скоррелированы между собой, что в основном определяют и стабилизируют плотность обитания всех основных групп растений, оставляя биологическим регуляторам лишь корректирующую роль – приведение объектов, в основном экологического ранга, в адаптивное соответствие с местными условиями обитания.

Этот вывод может показаться неожиданным и противоречащим надёжным биологическим данным и представлениям об исключительной вариабельности, широчайшей адаптивной пластичности, приспособляемости организмов. Однако, никакого противоречия нет. Графики в этой лекции (как в других на *Школе*) в своем биосферном пределе охватывают все отдельные организмы, группы (множества) организмов и все её обитаемые (биокосные) объекты. Биосферу невозможно отобразить иначе, чем в двойных логарифмических координатах. В таких координатах биоэкологическая изменчивость не уменьшается, изменяется лишь её зримый масштаб: она многократно “ужимается”. Дисперсия в 4 порядка по значению W/S_0 на рис. 9.18 вполне соответствует биологическим представлениям об адаптивной пластичности жизни.

Лекция 9.4. Распределение численности косных и живых тел биосферы по их размерам

1. Косные тела биосферы
2. Живые тела биосферы

1 . Косные тела биосферы

Беглый взгляд на географическую карту показывает, что площадь поверхности вод на Земле гораздо больше площади поверхности суши. Видим и другое: больше всего на Земле озёр, морей гораздо меньше, тем менее – океанов. То же и с озёрами: небольших по площади зеркала великое множество, крупных значительно меньше, а больших мало. Что это – общеизвестный и малозначительный факт (как долго думалось), или закон природы? Выясняется, что закон, причем фундаментальный – общеземной и даже близкий к космическому (лекция 4.5).

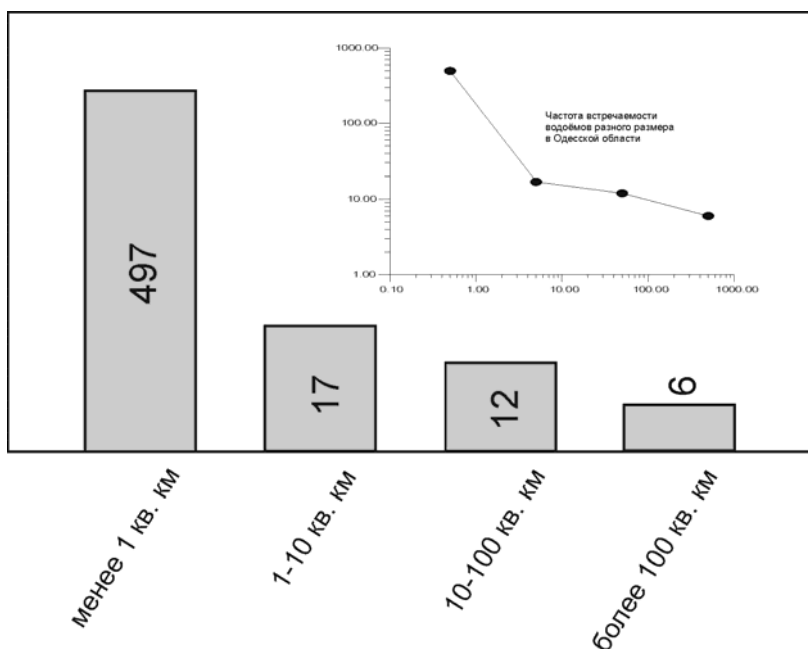


Рис. 9.19. Количество водоемов разных размеров в Одесской области.

На рис. 9.19 показано количество полузамкнутых водоёмов в Одесской области Украины. Рисунок отражает частоту встречаемости озёр, или иначе – плотность их размещения на суше. Понятно, что данные, имеющиеся по одной лишь Одесской области не отвечают на вопрос, является ли соотношение параметров на врезке к рис. 9.19 частным случаем, или это универсальный (и тогда важный) экологический закон. На этот вопрос отвечает график на рис. 9.20. Работа, из которой он взят (Downing et al., 2006), была выполнена международной научной группой, состоящей из одиннадцати исследователей, представляющих шесть стран мира. В показанную на рисунке 9.20 выборку вошли озёра, пруды и другие небольшие природные водоёмы из разных штатов США, Канады, Швеции и ряда других стран. Общий диа-

пазон частотного распределения пресных водоемов охватывает 10 порядков величин по площади зеркала (S), и отличается широкой географической представительностью выборки.

По абсциссе графика на рис. 9.19, видим, что диапазон объектов по S охватывает 3 порядка величин, а на рис. 9.20 видим 8 – 10 порядков. Закономерное соотношение между площадью зеркала водоемов и их обилием на Земле может отражать две разные ситуации: либо относительное преобладание более крупных водных объектов означает их большую хозяйственную ценность, либо водоёмы разных размерных классов встречаются в природе в логарифмически примерно кратных количествах. Однако, более очевидное и важное на рис. 9.20 состоит в другом: между площадью поверхности зеркала водоёмов, S , и плотностью их размещения на Земле (N/S) наблюдается закономерная зависимость, описываемая уравнением, приведённым в подписи к рисунку.

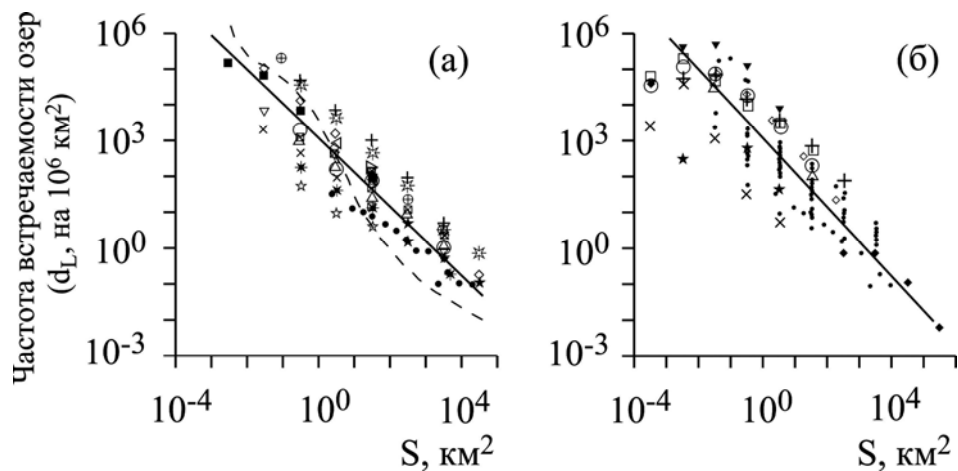


Рис. 9.20. Соотношение между площадью зеркала озер (абсцисса – квадратные километры) и частотой их встречаемости (ордината – количество озер на 1 миллион квадратных километров). Черные точки квадраты показывают частоту встречаемости озер из статьи (Schuiling, 1976). Пунктирная линия отображает гипотезу (Wetzel, 1990, рис. 5). Остальные данные из (Meybeck, 1995). Данные на рисунке приведены для Аляски, Аргентины, Австралии, Канады, Центральной Азии, Китая, СССР, Франции, Великобритании, Индии, Индонезии, Японии, Внешней Монголии, Скандинавии, Южной Европы, Тибета, США (общая территория и непокрытая льдом), Западной Европы (Schuiling, 1976), общемировые данные (Schuiling, 1976).

Пунктирная линия – данные по миру (Wetzel, 1990). Сплошная линия – согласно по уравнению: $y = 1,186 \cdot x^{-0.961}$. Взято из: Downing et al., 2006.

Поскольку график на рис. 9.20 охватывает самые разные типы водоёмов во многих географических регионах мира, его можно рассматривать как универсальное экологическое соотношение. Но только ли экологическое? На этот вопрос отвечают геофизики, специалисты наук о Земле и строители-практики. Давно известно, что при физическом дроблении горных пород образуется так называемый “рухляк”. Он представляет собой смесь осколков – частиц разного размера от крупных глыб до микроскопической пыли. Если при размоле ни одна группа частиц из общего рухляка не была изъята (специально отсеяна, или отнесена случайным ветром или водой), то распределение частиц по размерным классам описывается все тем же соотношением.

Из работы Даунинга и сотрудников (Downing et al., 2006) следует, что **частота встречаемости на Земле озер (и не только их, добавим мы) = $a S^{-b}$**

Понятно, что как природный феномен, дробление косных тел, водных в том числе, – явление физическое. На Земле же оно становится экологическим законом, тем более что “частицами” биосферы являются и живые существа, и косные пылинки, и большие валуны, и океаны, и континенты – все наравне*.

В связи множеством водоёмов, показанных на рис. 9.20, обратим внимание на численное значение углового коэффициента b , близкое к 1. При $b = 1$ (угол наклона регрессии к абсциссе равен 45°), перемножение N/S и S дает константу. Можно поэтому предположить, что в диапазоне S водоемов от 10^{-4} до 10^6 водоёма/м² разных размерные классы представлены на Земле одинаково взвешенным количеством, но малые водоёмы недостаточно изучены в силу их меньшей ценности по уловам в рыбоводстве. Но, быть может, природная ценность малых по площади зеркала водоёмов связана с другими их качествами, которые люди ещё не научились ценить? Напомним в этой связи, что чем организмы мельче, тем больше их валовый вклад в метаболизм биосферы. Биологи с экологами достоверно узнали об этом лишь к концу XX века.

Разделив N/S в совокупности озер на среднее их значение S/V , получим величину $N_{\text{озер}}/V_{\text{воды}}$ в водоеме. Ее можно интерпретировать как *плотность распределения водоемов в расчете на единицу объема воды в них*. Её экологический смысл формально аналогичен плотности распределения особей, например, планктона или рыб по отношению к площади зеркала водоемов.

2. Живые тела биосферы**

На протяжении большей части XX века в советской биологии господствовало взятое из красной философии убеждение в “принципиальном”, “качественном” различии косного и живого, Био и Гео. Это была не наука, а псевдо-религиозная вера рядового научного народа в “специфику” жизни, вплоть до неприменимости к ней законов косного мира. Еще более осуждался физикализм применительно к социальным (людским) популяциям и сообществам, истолкование которых было уделом лишь философии с советским лицом. В системе массового биологического образования Украины (особенно в средней школе) убеждение в исключительной “специфике” жизни сохранилось до начала XXI века. Об идеях эволюции на основе небιологических законов (автогенез, номогенез) в учебниках либо не упоминается вообще, либо эти идеи критикуются и отвергаются. Согласно дарвинистским представлениям (сам Дарвин – вне подозрений), никак нельзя ожидать, что численность особей каждой группы может определяться, прежде всего, общемировыми законами, а уж во вторую очередь биологическими, в том числе естественным отбором.

Между тем, к началу XXI уже имелись многочисленные данные о том, что плотность распределения растений и животных самых разных таксономических групп на поверхности земли (N/S) коррелирует с индивидуальной массой тела (W)

* Подробно о разных типах распределения по размерам косных отдельностей Земли можно прочитать в работе: Садовский, 1982, Садовский и др., 1982, 1987.

** О законе распределения по размерам живых тел в связи с их биогеохимическими характеристиками подробно написано в книге В.Г. Горшкова (1995, с. 319, 342 и др.) и в ряде публикаций других авторов.

живых существ, причем значение углового коэффициента b в соответствующих уравнениях близко к 1 (как на рис. 9.21). Современные данные наук о Земле, , как и сведения самой биологии (рис. 9.21), позволяют заключить, что плотность обитания организмов на Земле определяется, в первую очередь, общемировыми законами для любых вещественных множеств. Это нисколько не исключает корректирующего участия естественного отбора и других процессов в реальном, адаптивном распределении организмов по поверхности Земли.

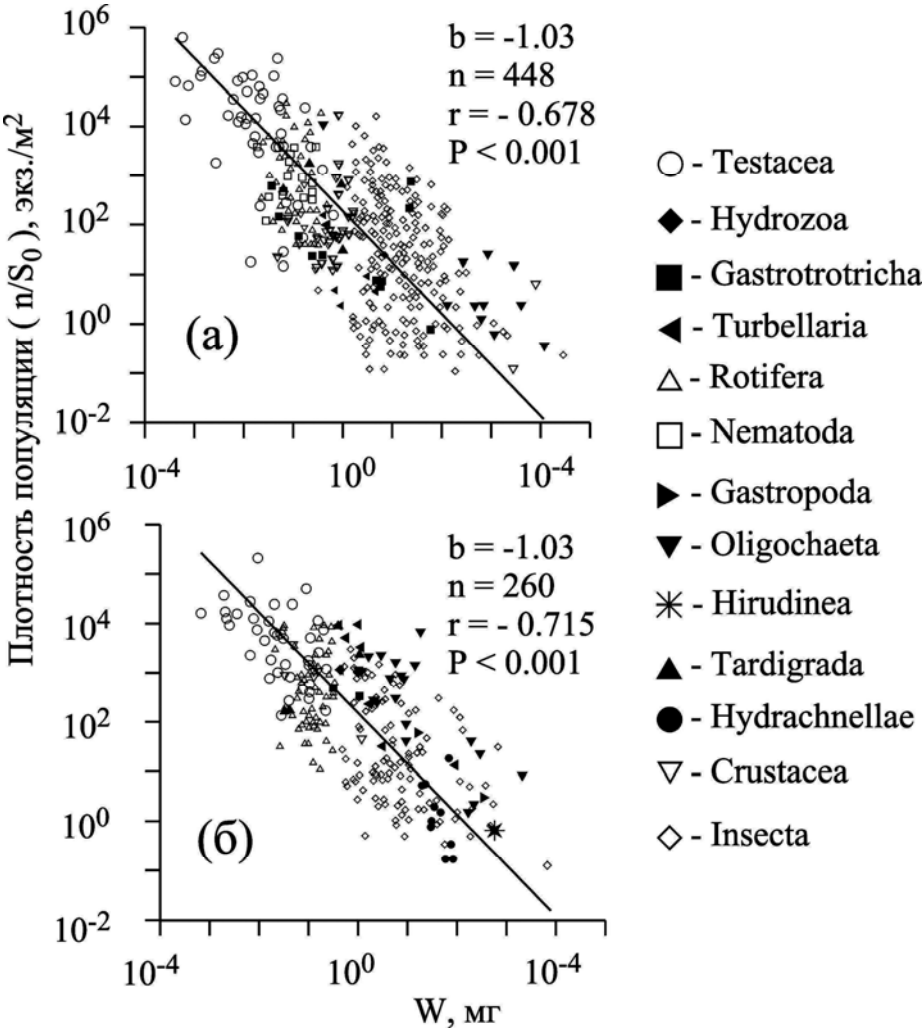


Рис. 9.21. Линейные регрессии популяционной плотности, как функция индивидуальной массы тела для разных видов донных беспозвоночных в сообществах двух ручьев: (1) в районе морского побережья Оберер (448 образцов) и (2) в районе Афон Минач (260 образцов). Уравнения регрессии для места (1): $\log. \text{плотности} = 2.26 - 1.03 \text{ DM}$ (где DM – сухая масса), для места (2): $\log. \text{плотности} = 2.15 - 1.03 \text{ DM}$. Символы на графике отражают средние значения плотности популяции против средней индивидуальной массы особей для видов из 13 различных таксономических групп, перечисленных сбоку от графика. Графики взяты из работы: Schid et al., 2000.

Общеизвестно, что обилие организмов радикально зависит от наличия пищевых ресурсов, прежде всего воды. Их недостаток снижает скорость роста и рождаемость потомков, а острый недостаток приводит к вымиранию. Увеличение количества пищи и воды восстанавливает нормальный (как в мировой популяции водоемов) уровень численности индивидов, но к неограниченному росту и размножению отнюдь не ведёт. Понятно, что каждой размерной группе живых тел природа задает не точное значение численности популяций в каждом конкретном месте, а только некую “базовую норму”, оставляя широчайший простор для локальных биологических адаптаций (широту коридора адаптаций донной биоты водоемов к рельефу Земли отражает дисперсия значений n/S_0 на рис. 9.21).

* * *

Резюмируем сказанное выше.

Биологам классического периода было свойственно искреннее изумление разнообразием видов живых существ, то изящных и привлекающих, то устрасающих и отталкивающих. При всем том, биологи классического времени были людьми глубоко проникновенными. Только ещё начав изучать разнообразие жизни, на фоне разительных различий они усмотрели множество базовых сходств. И догадались: существует некий, задуманный Главным Конструктором бытия, “общий план” строения живых существ. Заметили также сходства живых и неживых тел. Заметили, но потом отвлеклись, и впечатление “общего плана” жизни постепенно выветрилось. В учебниках стали писать, что живое и косное происходят как бы даже не от единого корня, что они “принципиально различны”. А по сему не требуется биологам знать физику с математикой, которые только для косного мира. Достаточно, мол, хорошо знать биологические виды и как они произошли: все живое сотворил естественный отбор и нечего больше мудрить. Теперь же вдруг вспоминается, что физические и геометрические законы в сфере жизни неотменимы и, чтобы понять давно искомую “суть жизни”, знать их необходимо. Иное дело, что, по задумке Главного Конструктора, для жизни на Земле физического и биологического знания, похоже, что недостаточно. В окружающем мире духовное не менее важно, чем вещественное. Одухотворенность природы, даже косной, всюдна и неизменна (Вернадский), а людская убывает и убывает. Ищем причину людских кризисов?

Лекция 9.5. Сообитание в общей для всех биосфере

1. Соотношения базовых параметров обитания по разным группам организмов
2. Соотношение основных функциональных групп организмов в метрике биосферы

Усилиями всего сообщества природоведческих наук XX века было выяснено, что базовые геометрические характеристики дискретных обитаемых объектов строго скоррелированы с массой живого вещества в их объеме или на их поверхности. Это позволяет однозначно описывать обитание самых разных организмов и их совокупностей. После обсуждения в девятой теме ряда важных структурно-функциональных соотношений в размерных рядах биокосных систем, уместно в общей метрике рассмотреть соотношения в биосфере, основных групп живого вещества – растений, животных и людей, т.е. их **сообитание**.

1. Соотношения базовых параметров обитания по разным группам организмов

Рассмотрим крупномасштабную скоррелированности массы, W , живого вещества (общего или по основным группам) и объема, V , соответствующего обитаемого пространства: $W = a V^b$. Выпишем в численной форме соотношение W и V для обсуждавшихся ранее основных групп организмов.

Для совокупности разных водных и наземных животных (единицы измерения показаны на графиках в лекциях) имеет вид:

$$W = 4000 V^{0.68} . \quad (1)$$

Здесь и далее W – г живой массы, V – м³.

Поскольку животные связаны с растениями разными типами и трофических, сенсорных и других экологических связей, полезно сравнить значения коэффициентов в уравнении для наземных и водных растений. Для наземных растений в их кронах и пологах, т.е. в обитаемых пространствах экологического ранга (Хайлов и др., 2005, с. 162 – 169):

$$W = 1735 V^{0.91} . \quad (2)$$

Для водных растений в обитаемых пространствах экологического ранга:

$$W = 317 V^{0.67} . \quad (3)$$

Для людей и одомашненных ими животных (подробно в следующей лекции) в их обитаемых пространствах:

$$W = 4671 V^{0.64} . \quad (4)$$

Вычислим по этим уравнениям линии регрессий, отражающие соотношение W и V в обиталищах. В общей метрике они показаны на рис. 9.22. Расчет проведем для диапазона значений V от 10^{-5} до 10^7 м³.

Линии регрессий интерпретируются как скользящая норма обитания оптимальная для жизни в данном объеме пространства при наличии всех сопутствующих условий в данном месте за некоторое среднее время жизни. Понятно, что если при неизменных значениях W и V на длительное время установятся иные сопутствующие условия (изменится температура, приток в объем V пищевых веществ или отток из V продуктов жизнедеятельности и т.п.), то условия жизни могут оказаться неоптимальными. В таком случае потребуется или корректировка W и V , или приведение сопутствующих условий к надлежащему состоянию.

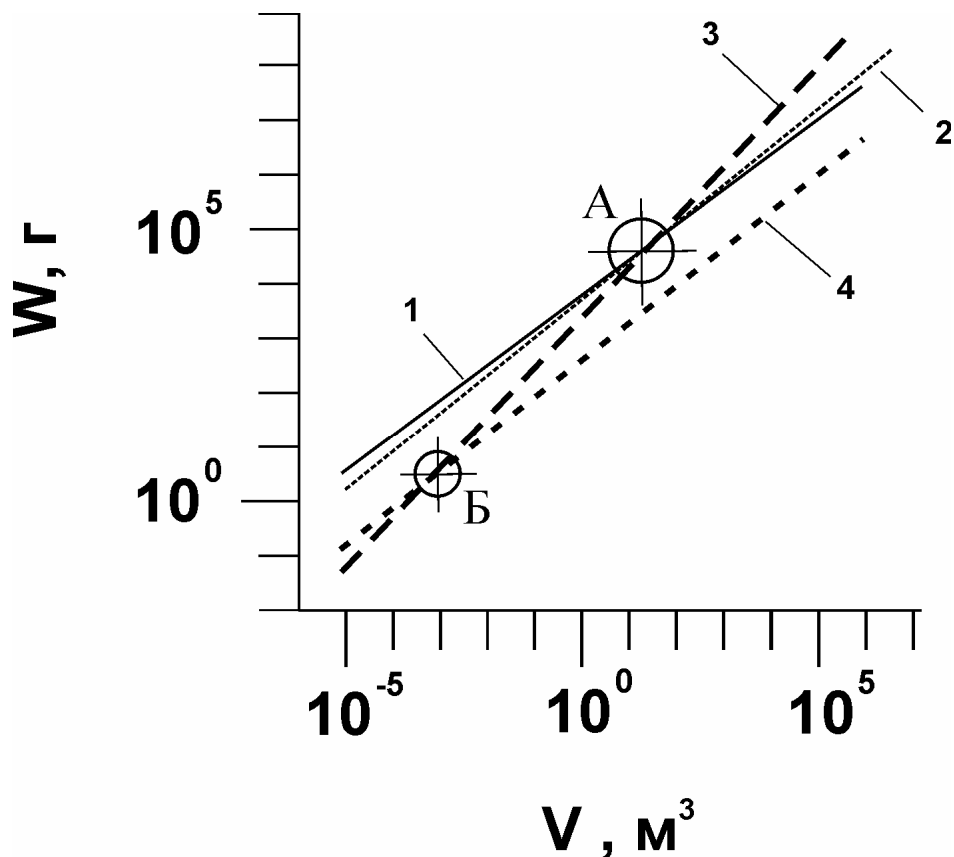


Рис. 9.22 Сравнение разных таксономических и экологических групп организмов по соотношению объема обитаемого пространства и массы живого вещества в нем. В каждом объеме надтелесного пространства биосферы в той или иной мере присутствуют и животные, и растения (растения почти в любой такой системе представлены воздушными и водными формами). На рисунке показано как в размерном ряду надтелесных биокосных объектов разного объема изменяется соотношение взаимодополняющих групп организмов. Линии на рисунке: 1 - обиталища людей и одомашненных животных; 2 - обиталища диких животных; 3 - обиталища (телесные и надтелесные) наземных растений; 4 - аналогичные обиталища водных растений. Линии проведены соответственно уравнениям в тексте.

Различие численных значений коэффициентов a и b у разных групп организмов приводит к разному положению регрессий в метрическом поле, в том числе к пересечению некоторых линий, что в каждом случае требует экологической интерпретации. Линии 1 (жилища людей и хозяйственных животных) и 2 (жилища диких животных) на рис. 9.22 проходят рядом, пересекаясь в точке А. Линия 4 (водные рас-

тения) располагается почти параллельно двум первым, но на порядок ниже. Линия 3 (наземные растения), благодаря более высокому степенному коэффициенту в уравнении (4), пересекает линию 4 в точке Б и линии 1 и 2 в точке А. Пересечения линий отражают смену доминирования соответствующих групп по массе живого вещества, что обсудим ниже.

Рассмотрим сначала пересечение на рис. 9.22 линий 3 (наземные растения) и 2 (дикие животные). При значениях V от 10^{-5} до 10^3 м^3 (вблизи точки пересечения линий) в природных объектах масса мелкотелых животных преобладает над массой растений. При $V > 10^3 \text{ м}^3$ наоборот – масса растений преобладает над массой животных. В целом по континентальной части биосферы общая масса растений ($6.4 \cdot 10^{18} \text{ г}$) превышает общую массу животных ($3 \cdot 10^{15} \text{ г}$) примерно в 2000 раз (Суетова, 1973).

Обсудим пересечение линий 3 (наземные растения на рис. 9.22) и линии 4 (водные растения, там же). При объемах обитаемого пространства менее 1 литра (при V от 10^{-5} до 10^{-3} м^3 , здесь точка пересечения линий) масса водных растений доминирует над массой наземных. При $V = 10^{-3} \text{ м}^3$ их массы равны, а при $V > 10^{-3} \text{ м}^3$ преобладает масса наземных растений. В природных объектах объемом 10^{10} м^3 масса наземных растений примерно в 1000 раз превышает массу водных (вероятно, так обстоит дело в занимающих большие площади лесах с крупными деревьями, например, в тропических).

Обсудим теперь соотношение масс наземных растений (линия 3 на рис. 9.22) и людей вместе с хозяйственными животными (линия 1). Взаимное соответствие двух этих групп особенно важно потому, что достаточное снабжение людей биогенным кислородом и поглощение растениями продуктов дыхания – одно из условий здоровья. Зная об этом, эстетически наслаждаясь растениями и используя их в пищу, люди в своих в жилых, рабочих помещениях и около них обычно высаживают растения.

2. Соотношение основных функциональных групп организмов в метрике биосферы

На рис. 9.23 а объединены линии регрессий вида $W = aV^b$ по телам растений (линия 1), телам животных (линия 2), по надтелесным фитосистемам (линия 3) и надтелесным зоосистемам (линия 4). К ним добавлены вирусы растений и животных (линия 5). Жилища людей с их хозяйственными животными здесь опущены, чтобы не усложнять рисунок. В качестве самого маленького растения взяты клетки фитопланктона. В качестве самых больших тел растений и животных взято крупное дерево с объемом древесины 10^3 м^3 и тело кита объемом 100 м^3 .

На рис. 9.23 б по тем же двум группам биокосных объектов объединены линии регрессий вида $C_w = aV^{-b}$.

Отображение жизни в метрике биосферы играет ту же познавательную роль, что и её отображение в виде филетического древа. Как филетическое древо обобщает разнообразие видов организмов в их эволюции, так метрика биосферы обобщает биокосные системы в их собственной эволюции. Если бы на графиках были показаны все типы биокосных систем (показаны далеко не все; но не все виды отображает и филетическое древо), одним взглядом можно было охватить все их разнообразие. Метрика биосферы позволяет наблюдать взаимную скоррелированность, соответствие друг другу фито- и зоосистем, телесных и надтелесных уровней организации.

Обратим внимание на различие и сходство телесных и надтелесных эволюционных рядов. Первичные (телесные) объекты, т.е. водные и наземные организмы составляют (не считая вирусов) 20 порядков (от 10^{-18} до 10^2 м^3). Организмы объёмом

значительно больше 10^2 м^3 эволюционно бесперспективны; в биосфере их нет. Вторичные (надтелесные) объекты дают растениям, животным и другим группам организмов возможность продолжать эволюцию на более высоком уровне организации (наподобие того, как многоклеточность расширила эволюционную перспективу одноклеточных организмов). Надтелесному уровню организации фито- и зоосистем природа предоставила значительно больший, чем телесным объектам, диапазон объемов, 28 порядков (от 10^{-10} до 10^{18} м^3).

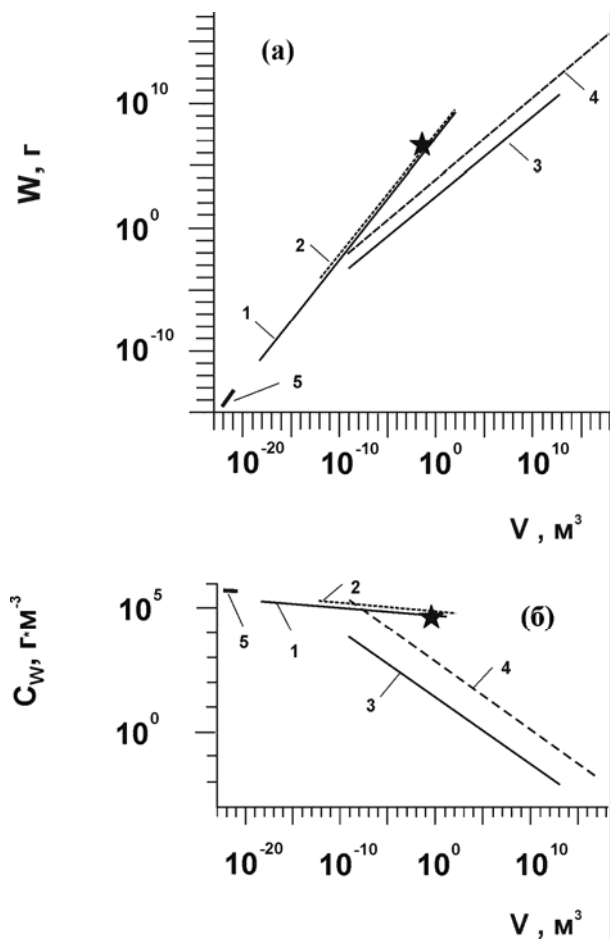


Рис. 9.23. Телесные и надтелесные объекты совмещены здесь по параметрам V и W в общей биосферной метрике. Весь ряд систем-обиталищ охватывает почти 40 порядков по объему индивидуально занимаемого пространства. Линии на рисунке: 1 - тела растений, 2 - тела животных (звездочкой показано метрическое положение в тела человека), 3 - надтелесные биокосные фитосистемы, 4 - надтелесные биокосные зоосистемы, 5 - вирусы.

Рисунки иллюстрируют два главных принципа жизнеобитания: 1) экспансию, расширяющийся захват растениями, животными и другими организмами пространства биосферы (а теперь и выход за его пределы) и 2) закономерное снижение объемной концентрации живого вещества по мере расселения организмов и увеличения обитаемого объема.

Показанные на рис 9.23 *а* и *б* ряды охватывают разные формы эволюции в биосфере – геологическую эволюцию Земли, эволюцию организмов и их видов и техногенную, при участии мыслящих людей (ноосферную) эволюцию. Эволюция косного вещества Земли (геогенез) и эволюция жизни (биогенез) не являются про-

стой суммой процессов. Это продукт их сложного взаимодействия, **коэволюции**. Точно также и эволюция живого вещества биосферы не является результатом механического сложения эволюцией автотрофов, гетеротрофов и других метаболически специализированных групп организмов; это длительное взаимное согласование их обменов веществ, коэволюция.

На филетическом древе, отражающем эволюцию организмов отдельно от Земли, человек представлен лишь как вид *Homo sapiens* и признается высшей ветвью эволюции. Напротив, в метрике биосферы размещается и человек, и человечество. Крупномасштабные местообитания людей – экосистемы и ландшафты. Обитание людей на Земле в составе биокосных систем биосферы простирается в диапазоне от 10^{-3} до 10^{19} м^3 (23 порядка). Биосфера, включающая человечество, имеет объем порядка 10^{20} м^3 .

На регрессии, обобщающей ряд животных, звездочкой отмечено положение человека, как индивида (объем его тела принят за 70 л, т.е. 0.07 м^3). Примечательно, что объем тела человека, приходится почти точно на середину размерной шкалы биосферы. В прошлом веке американский астофизик Х. Шепли одним из первых обратил внимание на то, что человек со своим характерным размером тела находится как бы в центре мироздания, посредине между сверхгалактическими звездами и мельчайшими элементарными частицами. Случайно ли это?



“Устный счет в народной школе С.А. Рачинского”.
Н. П. Богданов-Бельский (1895 г.).

I. Научно-публицистический взгляд

1. Как мы выглядим в собственной обитаемой области без науки о ней?
2. Науки и вертикали
3. Культурология XX века отмирает, а пределы природы остаются
4. Публицистичность науки и образования возрастает. И это хорошо.

С самого начала авторы нескромно заявили, что *Школа* обращена к *человечеству – людству*. В глобальном мире мы обращаемся к двум его глубоко родственным частям-государствам с их территориями, народами и жизненными ресурсами – к *России* и к *Украине*, до *України* та *Росії*. Думаем, что соседям вдвоем лучше. А еще вспоминаем истоки общенародного образования. На странице слева видим фото с известной картины художника Николая Петровича Богданова-Бельского “Устный счет в народной школе С.А. Рачинского” (1895). Для восхищения слов не находим, но вернуться в прошлое не зовем.

1. Как мы выглядим в собственной обитаемой области без науки о ней?

Весь букет неприятных событий на Земле за последние два с лишним века приводит к мысли, что кризис “мирового порядка” создан ошибочно ориентированным человечеством. В основе людских знаний конца XX века оказалась не Земля со всем ее видовым разнообразием, а один живой вид из так и не сосчитанных до конца их миллионов. Вид *Homo sapiens* буквально владеет и манипулирует всеми остальными. Это называется рабством и все *Homo* – рабовладельцы. С отступления от законов и пределов природы наше рабовладение началось и бездумно, столетиями продолжалось. А если так, то ущербное миропонимание предстоит сообща исправлять, с потерпевшими старшими братьями расплачиваясь своими дорогими бумажками. Только тогда и узнаем, вероятно, как мы в собственной обитаемой области выглядим и отчего в ней бывают кризисы.

О кризисе “мирового порядка” говорят и пишут все чаще. Но если он глобальный, то и наш собственный тоже, на наших государственных территориях. Однако, нормальному человеку глобальный мир далек и туманен. Ему дороги дом и семья, а не территории с человечеством. Переводу сознания в глобальную плоскость нормальный человек воспротивится и будет прав. Но замещать одно другим вовсе не надо; надо лишь научиться их в сознании *совмещать*. Для совмещения себя с биосферой учебники в школах и университетах – самое подходящее место, а дома не стоит. Где ты на теле Земли и что она для тебя значат? Она Кто или Что? Защитница или отхожее место? И это не пафос, а так и есть. Проблема, однако, в том, что глобально мыслить нас нигде не учили. Учили запоминать крохотное. Запомнили, что мы на лесенке всех выше, а поэтому главные, законные командиры. Но тогда мы же за кризисы и в ответе. Нам с ними и разбираться.

Чтобы на своей земле во всем разобраться, с ее учебного образа государственных природоведческие книги следовало бы начинать. Или же надо иметь о собственной стране и правилах жизни в ней особый учебный предмет. Именно о стране, со

всеми ее природными горизонталями, низинами и горами. Как можно меньше пустых слов и как можно больше страны, разных ее трудяг, пестрой земли и пока еще не совсем грязной воды. Мягкие природные иерархии с жесткими чиновными вертикалями в учебниках путать не надо. И пусть власти лежат на страницах, как и граждане – на почве, с настоящими, а не с ручными сурками и соловьями. Но нет в Украине учебников об Украине, а чиновники ее Минобразов слишком часто безграмотны; бывает, что и министры не очень. Живые примеры в России и в Украине у всех на виду.

От острых, как бритва, вопросов голова уже кружится, а учебники о них молчат. Задавать их с первого класса не обязательно, но не задают и в университетах, разве что в некоторых. Вопрос о том, чем нынешний мировой порядок плох и почему он ведет к неустройствам, буквально висит в воздухе. Без его, в полный рост, постановки на фоне мира или родной страны скоро уже не обойтись. Отвечать все равно придется, по своей стране – в первую голову.

Но как, пусть не сразу глобально, следует отвечать? Сначала, ведь, вопросы надо поставить, а это тоже проблема. В природоведческих университетах такого опыта и близко нет. Вопрос угловат, деликатен, ставить его надо в спокойных словах и близко к учебному предмету. Физике, химии, биологии, географии это не только доступно, но расширит их предметный простор и выведет к новым жизненным практикам. Слова “порядок” и “беспорядок” поймет и несмышленный ребенок, а об энтропии не надо. Их на детских кубиках объяснить можно, на листе бумаги цветными фломастерами нарисовать. Один из авторов этой книги годами читает в педагогическом университете курс биосферологии и с пониманием слушателей проблем не имеет; даже напротив. Биосфера болеет и это пора объяснять. При желании объяснить, дело лишь в педагогическом опыте. Нужны желающие его приобретать. За ним стоит биосферное будущее, а другого просто не будет.

Проблемы XXI века потребуют от образования нового типа озадачивания. Раз изучаемые объекты укрупняются, укрупняется и постановка задач. Чем крупнее задача, тем труднее ее ставить в терминах наук узко специализированных и тем легче – в общенаучных терминах. Опыт преподавания это полностью подтверждает.

Тягчайшая вина часто меняемых украинских и российских Минобразов с их вечными “комиссиями” перед своими Homo sapience – полный отказ от sapience, т.е. смыслов образования. Его разнообразные смыслы науками непрерывно обновляются, они всегда живы и одухотворены. Многолетнее господство минобразников советского типа с hard на лицах привело к тому, что наукоемкость природоведческих знаний сегодня на порядок ниже уровня физико-математических и химических знаний в средней и высшей школе России и Украины. Душу образования (взглянем на “Устный счет”) чиновники загубили вовсе. Дети наших стран оказались между пугающей горой высоколобых физ-мат учебников и вязким болотом – учебниками с цветными картинками, цветочками, букашками и спиралями ДНК вместо серьезных природоведческих знаний. Дети в растерянности, это видно простым глазом. За что платят на рынке, они видят отлично и туда всей толпой направились. Но там уже с лишком и это проблема. Чего мы, родители, ждем? Само собой лучше не станет. Если неглупые современные дети обо всем догадаются и начнут возмущаться, то будет гораздо хуже, а наступление hard продолжается каждый день. Кризис мирового, но и нашего собственного масштаба показывает, что этот напор необходимо переломить. Своими руками, других не будет.

Содержательный тренд природоведения должен быть направлен на поддержание и обслуживание природных, автоматных свойств биосферы, прежде всего ее имманентной динамической стабильности, а не на поддержание хаотически варьирующих “факторов” несистемной окружающей среды. Отказавшись от бесплатного

обслуживания жизни на Земле автоматом биосферы, Ното взвалил на себя непосильную во всех отношениях ношу. Представители развитых физико-технических наук о свойствах биосферы не осведомлены. Можно поэтому понять часто высказываемое мнение их отдельных представителей, что технические решения “проблем среды” должны быть главными. Не стоит их в этой ошибке неконструктивно обвинять; их надо убеждать с фактами в руках.

Коррекция природоведческого образования сложна еще и тем, что земная природа XXI века настолько переплетена с обществом и разными его институтами, что самые важные их пересечения учебные дисциплины будут вынуждены показывать и объяснять, включая и кризисы. Как из регионального кризиса (а он в глобальном, это же иерархия, о которой забыли) выходить? И почему он *системный*, в чем его *местный смысл*? С какими значениями коэффициентов параметры Гео, Био и Социо входят в кризис обитания конкретно в каждой стране? Такие вопросы, а их множество, надо ставить и ответы на них искать. Это значит, что сегодня остро нужна серьезная, университетского уровня **системно-природоведческая наука о России и Украине, для каждой страны в отдельности и обязательно в полноценном виде, а не кривобоко** (см. лекцию 1.4).

Нет в Украине и в России такой ответственной науки и ни одна не предлагает себя как главного эксперта, советчика по обитанию в собственных странах. Почему на вертикалях, академических в том числе, об этом заранее не позаботились? Кризис идет, а там праздно молчат, в Украине особенно. Кризисы природно-социального происхождения и разного масштаба возникают, размножаются и ветвятся. Размножаются и ветвятся они как деревья, по законам биологии, или иначе – бифуркаются без Дравина, по своим законам? Аудитории университетов – лучшее для серьезного обсуждения природы место. Именно обсуждения, а не натаскивания с какой то одной стороны по указке сверху. Отсюда опыт дискуссий и новые знания пойдут вширь. Откуда тому и другому еще растекаться?

2. Науки и вертикали

На картах мира, Украины и России географические масштабы постоянны, но для достижения разных целей их значимость разная. Различны и масштабы времени. Оно все убыстряется, но пока есть. Власти России и Украины наукам о природе не верят и не стесняясь их игнорируют. Причин много, но называют одну: *вы, научники,, работаете как бы вообще и работе вашей конца не видно. За что вам платим? Скоро перестанем*. Резон в этом есть, но есть и другое.

В отличие от власти, наука смотрит в корень: все имеет свою меру, все конечно и цена ему разная. В научных задачах результат иногда ничтожный, иногда огромный, а часто – пока неизвестный. Так было и будет. Вы, кто на своих вертикалях, разберитесь сначала в целях и ценностях. Если дело в гибнущем лесу, в нездоровой пище и в ядовитой воде, то дохода в копейках от науки не ждите, а требуйте воды, воздуха, и пищи по их природным кондициям и все это проверяйте. Люди на вертикалях ни нужный продукт науке заказать не умеют, ни результат проверить. Халтуру от дела не отличают. Если ваши чиновники плохи, так сами с ними и разбирайтесь.

Важные для практической жизни открытия порой выглядят странно. Наука говорит одно, а люди на иных вертикалях не верят и делают наоборот. Думают, что тот объект важен, который велик. На самом же деле, чем объект мельче и незаметнее, тем действует он интенсивнее, т.е. выше у него μ , а общую работу народного хозяйства при низких μ , посчитайте на верхах сами. В правительствах ряда стран об этом

узнали, все проверили и запомнили. Ставку делают на личную деятельность, на мелкие и средние предприятия и хозяйственные объекты. На других верхах маленьких не замечая, дают ход гигантам, как в СССР, а теперь в России: “быкам везде у нас дорога”. Народ же все понимает правильно: быки неповоротливы и ленивы, а современные нефтегазовые еще и глобально прожорливы. Не зря палеонтологи учат, что потому динозавры и вымерли. Понятно, что это упрощение, но смысл есть.

В начале XXI века время идет быстрее, чем в XX и мелкие структуры в социуме, экономике, в практической медицине, в политике обычно проворнее и важнее массивных. На уровне земли, где народ и живет, это видно даже простым глазом. Но сверху кажется, что действовать надо медленно и чем объект крупнее, тем он надежнее, “стабильнее”, причем во все времена, включая кризисы. Это двойная ошибка, поскольку все крупное не скоро проснется, а стабильно оно не динамически, а статически, т.е. с места не сдвинуть. А надо именно двигать.

В XXI веке точность, своевременность и практичность решений – условие обязательное. Понятно, что от науки с образованием требуются те же самые качества. Со своей точки зрения, правительства Украины и России правы: работать “вообще”, кому как захочется, нельзя, надо по задачам, меркам и темпам своего времени. А если нет, то и платить не надо. Но поймите, кто наверху, что в науке и образовании самая наукоемкая и интенсивно действующая область находится на их интерфейсе. Это университеты максимально широкого профиля. Так дайте же им дорогу. Без них ничего не получится.

Еще одно условие для успешной работы науки, тоже практическое. В XX веке во главе природоведческих наук стояла биология. Это время прошло и ни одна специализированная отрасль знания занять это место не может в принципе: биосфера глобальна и наука о ней может быть только междисциплинарной. По той же причине биологические “единицы” (клетки, многоклеточные организмы и их виды) для описания биосферы и ее государственных регионов не подходят. Министрам образования не стоило бы подтверждать подписью, что клетка – “главная единица жизни” (по ней, мол, и мерьте), как в государственном учебнике Украины; он часто нами упоминался. Исследовательским шагом науки, ее масштабной единицей, стали объекты типа Гео-Био и Био-Гео-Социо. А максимальное время выполнения научных проектов немерянным быть не должно. В этом на вертикалях правы.

3. Культурология XX века отмирает, а пределы природы остаются

Что бы ни говорили патриоты верховенства Ното на Земле и даже во Вселенной, главная культурологическая идея – человекоцентризм, оказывается ложной. Один украинский академик недавно предложил Стране и Миру дочернюю форму этой одряхлевшей идеи – “ребенкоцентризм”.

С академиком-антропологом-философом не нам, рядовым, спорить. Назовем современное человечество уважительно – “культурой людей”. Им предшествовала несравненно более древняя и опытная “культура диких”. Свое локальное окружение “дикие” несомненно осознают, а биосфера, поскольку не их ума дело, то не их и ответственность. Скоррелированной их деятельность в биосфере быть вовсе и не должна. Более того, хаос их индивидуальной деятельности на низших уровнях вносит важный вклад в стабильность биосферы в целом. И в самом деле: все разнообразие культур “диких” (известная лестница существ) сохраняются в биосфере миллиарды лет. Сохраняется потому, что создавалась в рамках всеобщих законов природы. Как

издали можно полагать, “дикие” не нарушали главных природных запретов: на превышение характерного размера и продолжительности жизни, не качали из глубин нефть, а целый ассортимент газов успешно выделяют сами. И что самое важное, **“культура диких” практически безотходна: что одни виды выбросили, то другие сразу прибрали (одна из основ правильной жизни).**

Эти и многие другие важные пределы люди стали историческим медленно превышать, закладывая опасные трещины в свою групповую стабильность и благоденствие. Если бы “дикие” могли размышлять, людскую “культуру” они, вероятно, назвали *дикой* и *вырождающейся*. Не потому ли учащаются случаи группового самоубийства не только людей, но и морских млекопитающих, быть может, умнейших среди “диких”. Живя в океанах, дельфины и киты глобально и мыслят; нам позавидовать. Похоже, что опасное для жизни состояние морей и океанов они осознали прежде и лучше нас. “Культурных” своей групповой гибелью они, возможно, предупреждают, а тем хоть кол на голове теши.

4. Публицистичность науки и образования возрастает. И это хорошо.

О кризисных явлениях в обитаемой области Земли мировые СМИ говорят и пишут теперь все чаще, но предельно кратко, без углублений в эту неясную и опасную для вертикалей тему. Преобладающий тон двулик и обманчив, спокойно-тревожен. Участвовавшие российские сообщения об эвакуации миллиона жителей из зон тайфунов, подступающих к берегам США, и о пожаре в районной сибирской больнице идут в одинаковом ранге. Властям угодно, чтобы уровень понимания в массах был минимальным, а смысл затерт. То же и о среде обитания. На экранах TV беспорядочно, чтобы излишнего внимания не привлекать, мелькают страшилки – показ климатических аномалий без причинно-следственных комментариев или с безопасной отсылкой на потепление. Экологию в школах – долой, а историю с математикой – подрезать, как сверху велят в России. Не голубей ли гонять повелят?

На международном уровне необходимость антикризисных мер в природной среде и в социуме осознается, но взаимное согласие ведущих стран не достигается и решительных действий нет. На споры о квотах на выбросы ушли уже два десятилетия, а смысл вовсе не в них. Высоколобые науки не молчат. Однако, их фундаментальные, но традиционно специализированные отрасли, социум не изучающие, к невзгодам людского обитания прикасаются редко, публицистичности избегают. Географы о ситуации в природознании тоже отнюдь не молчат, высказываются, но очень и очень осторожно. Чего то опасаются? Науки сильные более слабым соседям должны, нам кажется, помогать, их время от времени поправляя; публично – в том числе.

С природоведением дело другое. При переходе от классической экологии без человечества к экологии глобализованного людского мира, степень публичности экологии возрастает в той мере, в которой проблемы обитания питания и здоровья обостряются. В период так называемого “экологического кризиса” экология приобрела обманчивые черты социально ориентированного знания; по сути же она действовала беспорядочно и очень неэффективно, а контроль от гражданского общества властям не нужен. В отсутствии здоровой экологии ложно понятый смысл диспропорций в глобальном Гео-Био-Социо направляет усилия на бесконечную очистку “окружающей среды”, которая, как минимум, до Луны. Но даже в пределах Земли, ее очистка невыполнима. Ни денег, ни энергии в таком неисчислимом объеме человечеству не добыть, тогда как автомат биосферы делал бы это бесплатно. Просветить нас

может только одно – система образования и ее soft, который чиновники, меряя по себе, подменяют тупым hard.

В начале XXI века на науку и образование ложится исторически небывалая ответственность. Они оказываются единственными осведомленными и при этом массовыми проводниками, способными обращаться как к нелепо торчащим вертикалям, так и, минуя их, через школы и университеты, прямо к способным мыслить гражданам на поверхности Земли. Только вот *технологии мышления* предстоит изучать. Это самый soft и есть.

II .Учебно-образовательный взгляд

1. “Надо уговорить страну пойти учиться“
2. Безвинные ошибки познания предстоит исправить
3. Пора осознать более реальные пропорции природы и всеобщие правила обитания
4. Опереться в природознании на общенаучные принципы

1. “Надо уговорить страну пойти учиться“

Эти слова взяты нами в кавычки потому, что именно в такой форме они были недавно высказаны на RTVi одним умнейшим писателем и общественным деятелем современной российской культуры. В разной форме, но дальше от задач *Школы*, ту же мысль высказывают многие известные писатели, социологи, экономисты, врачи, журналисты России, историки и многие другие, не рублевые. С такой же убежденностью те же слова, в укор своим политикам, высказывают интеллектуалы Украины. Это один из спасительных признаков в рупорах нашего времени.

Однако, простого осознания учебного императива мало. Надо менять его тренд. Если учиться в прежнем, потребительском русле – “Все для Человека! Человек – высшая ценность!”, а главная профессия – Чиновник из трех исконных российских букв..., VIP, то ситуация лишь обострится. Пора осознать, что высшая ценность для всех нас, начиная с самых старших, т.е. с бактерий – биосфера, а не человек. Учиться жить надо у нее. Ее законы надо знать и, что еще важнее, их глубоко понимать. Времени для разворота российского и украинского (с ними Вернадский), а затем и европейского образования в сторону биосферы, остается все меньше. Дело предстоит сложное и две наши страны могли бы стать его мировыми лидерами.

2. Безвинные ошибки познания предстоит исправлять

Приходится признавать: у природоведения в целом стратегии развития не было и быть не могло. Исторический путь людского сознания начинался с глаз без очков. Стекло изобрели, очки излучились делать и создали много отдельных наук – о Земле, жизни и Обществе и разных учебных предметов. Но межпредметные связи слабы, учителей заел быт, а рынок гонит в рублевку. Стратегия любого поведения, природоведческого в том числе, вырабатывается медленно, опытным путем. С самого начала XXI общая стратегия для разных наук становится необходимой, а выстроить ее можно только сообща. Исторические ошибки познания надо искать и исправлять.

Для этого существует круглый стол – межнаучный, но сначала только научный, без всяких чиновников.

Одной из задач этой *Школы* было, опираясь на мировые биосферные данные и концептуальные разработки, имеющиеся в научной литературе, привести читателей к прискорбному, но честному выводу: долго принимавшееся убеждение, что естественная живая природа организована и эволюционировала на основе борьбы за существование и отборе сильнейших с “отсевом” слабейших, является исторической ошибкой науки. Дарвинисты без Дарвина ошиблись. Помимо чрезмерного культа генов, они использовали незрелое понятие “среда обитания”. Случайный набор “факторов среды”, без размера и четкого состава, надолго замаскировал собой организованность биосферы.

Одна из основ общего природоведения – представление об иерархии, т.е. совокупности взаимосвязанных уровней организации Вселенной по принципу “одно в другом”, “меньшее в большем” (известная “матрешка”). Естественно, что проявление иерархической организации в сфере жизни было рассмотрено биологией лишь в ее предметных границах, но без необходимого углубления (причины и концептологию объясняли в лекции 5.6). В классической экологии надтелесные формы жизни рассматривались главным образом в границах сообществ и экосистем. Между тем, реальное “видовое” разнообразие надтелесных форм жизни, их типология и структурно-функциональная организация гораздо сложнее, а их совокупная роль в биосфере не уступает роли организмов и их видов (на графиках в разных лекциях документально показано). В системе земного природоведческого образования вся биосферная иерархия, т.е. реальная организованность обитаемой области Земли не отражена. Слабое понимание иерархий приводит к ложному смешению иерархии естественного соподчинения уровней организации природы с иерархией власти (ее “вертикалью”), что ведет к ошибочным выводам социального, экономического, исторического, культурологического значения. Главное же следствие неосведомленности об иерархической организации жизни состоит в том, что система образования лишена возможности рассматривать в должной полноте феномен динамической стабильности биосферы – главного гаранта жизни человечества и не только его.

Основу организованности биосферы и жизни составляет множество взаимно согласованных связей, потоков вещества, энергии и информации на каждом уровне и в ней в целом. Можно, по-видимому, сказать, что **разным уровням организации соответствуют разные “состояния жизни”, ее формы и проявления.** Это несколько не умаляет биологического понимания жизни “в форме организмов, их видов и сообществ”, но позволяет различать также и глобальное состояние Жизни. Всеобщая и жестокая “борьба за существование” не типична даже на уровне организмов; на биосферном уровне она невозможна тем более. В начале XXI века это уже осознается, в энергетическом и военно-политическом отношении в том числе, что очень обнадеживает.

Науки о Земле приняли дарвинизм без должного размышления, на веру, высколобые физика и химия тоже. Только этим можно объяснить, что, наблюдая явное преобладание физических и химических сил на поверхности Земли, профессионалы этих наук не объяснили биологам мировоззренческое значение наблюдаемых в природе фактов. Теперь это приходится делать под давлением кризиса глобального масштаба.

Выступающая на первый план значимость явлений глобального масштаба такова, что обязывает оглянуться на историю Знания в целом. Если биологам это окажется сложным, им надо помочь извне. Умных наук достаточно. Круглый стол науки высоко обеспечен, но мнения о состоянии знаний будут предельно разные. Это тоже проблема.

3. Пора осознать более реальные пропорции природы и всеобщие правила обитания

Адекватны ли пропорции знания пропорциям природы? Профессионалы наук, уважительно называемых естественными и великие философы мира об этом давно задумываются. Но исторического мониторинга знания о природе в ее полноте, до времени не могло, вероятно, быть. Неадекватность учебных знаний об обитаемой области Земли определить проще – по структуре учебников. Такие попытки были и в *Школе* отчасти обсуждались; они настораживают. На уровне университетов пропорции знаний о жизни не обсуждаются, хотя само понятие “университет” требует *полночленности знаний*. Это первейшее условие системологии, но при небрежном, любительском ее изложении (упоминалось) оно утрачивается. Неизбежное следствие неполночленности знаний (в лекции 1.4 показывали гистограммы) – нарушение и даже искажение пропорций знания, *Картины мира*. Ничего себе.... Видеть жизнь в терминах особей и разных их “признаков” в XXI веке недостаточно; в глобальном мире несравненно важнее экосистемы, ландшафты и другие крупные структуры. Биологический язык “признаков” для них не подходит.

То же касается и обитания. Емко, внятно и сопоставимо описать обитание разных групп организмов в разных “окружающих средах” так и не удалось, хотя частные успехи были. Проще и быстрее делать это по общенаучным правилам; а главное – выявляются правила биосферного обитания.

4. Опереться в природознании на общенаучные принципы

Исходные принципы Природы в общем давно известны. Приводимый ниже их перечень не строг; разными бывают и формулировки.

- *Структурный принцип*. Разрешенная численность в биосфере физических косных (твердых и водных) тел, как и биокосных (организмы, локальные экосистемы) задается общими мировыми законами; в лекциях обсуждались. Естественный отбор корректирует численности организмов в соответствии с локальными условиями обитания, но главным определителем их численности отбор не является.
- *Функциональный (поточный) принцип*. Вся динамика в обитаемой области Земли формируется потоками вещества, энергии и информации. Они задают распределение базовых ресурсов между структурными частями объектов и эволюцию жизни и использование конечных ресурсов по общему для всех правилу. Все главные жизненные ресурсы закономерно и справедливо распределяются в соответствии с наличествующей живой массой. В пределах каждого биокосного блока биосферы справедливое распределение пищевых ресурсов происходит через ветвящиеся сети потоков. В организмах это сосудистые системы растений и животных. Гидродинамические и биологические характеристики потоков закономерно согласованы, скоррелированы между собой. В совокупности все это приводит к достаточной обеспеченности особей и групп всеми базовыми ресурсами (в терминах потоков углерода: $\mu_s = \text{const}$; обсуждали).

- *Принцип биосферного регулирования.* Принцип Ле-Шателье выполняет в природе роль базового закона регулирования. В открытой системе он через *отрицательную* обратную связь дает гарантию ее самоограничения. Он же обеспечивает адаптивную коррекцию процессов, потоков. Напротив, в естественном отборе заложена совсем другая, *положительная*, обратная связь, разрешающая усиление, разгонку процесса. На уровне многовидовых сообществ дарвинистская схема эволюции не работает. Что же – сообщества не адаптируются к среде? Этого не может быть; они нормально адаптируются (лекция 6.2 об автоадаптациях сообществ). Дарвинисты XX века, вероятно, забыли об этом подумать, а Дарвин отдыхал.
- *Принцип биосферного миролюбия.* При равенстве плотности потоков на единицу метаболически проницаемой поверхности, нет базовых оснований для конкуренции, как главного закона жизни. Поскольку локальные потоки углерода и солнечной энергии широко варьируют, конкуренция в той или иной мере необходима и действует естественный отбор на генетической основе – адаптивный корректор. По вертикальному профилю фитосообществ, например в тропических лесах, также нет фундаментальных причин для жесткой конкуренции и борьбы; корректирующие адаптации происходят.

Позволим себе с осторожностью высказать также *эмпирический принцип неизбежной катастрофичности*. Это принцип беспредельности желаний. Желания “диких” лимитировались, вероятно, их мозговыми возможностями или медленностью их развития. Мозг человека стал порождать желания сначала в вещественной сфере – от глиняных горшков до электронных самоваров с функцией горшка. Мир вещественных желаний, технологий и отвечающих им изделий имеет мало общего, или ничего общего с окружающей природой; он ее отвергает и ей противопоказан. Он формировался гораздо быстрее эволюции мозга; осмысление происходящего по воле человека делалось все более невозможным. Кризис понимания событий разразился. Область знаковых технологий простирается от письма на глиняных табличках до печатания фальшивых денег и удовлетворения любых желаний через Интернет. Ситуация настолько входит в противоречие с вещественным миром и его законами, что катастрофа представляется неизбежной. Без осмысления происходящего выход из петли вряд ли возможен.

III. Кто виноват? Окружающая среда, Гей, или мы сами?

1. Народные поиски субъектов кризиса
2. Кто же, все таки, виноват?
3. Кто безусловно не виноват

Экология XXI века становится публичной, выходит на улицы. В журналистику она не превращается, но у нее учится. Публично, громко, с плакатами нас учат “зеленые”. Но это не экологи, а *во что то* искренне, но наивно верующие. Во что верят? Ищут новую основу веры и готовят свой Круглый Стол? Новую мировую веру, стратегию продолжения жизни ищет и все людское сообщество. Самый простой и практичный вывод – искать вместе, а не в борьбе, как бы ни было это банально.

1. Народные поиски субъектов кризиса

Неадекватное знание и понимание – один из главных истоков любой беды, начиная с семейной. Кто кого в семье не понял? Что в глобальном доме случилось? Заболело в человечестве, или еще где? Кто виноват и что делать? Сразу засучивать рукава, или сначала учиться, чтобы случившееся понять? В первые десятилетия XXI века трудности, в образовании в том числе, будут лишь возрастать и скрывать их правителям не удастся. Как же, не возбудив хаоса, объяснить населению неизбежную череду невзгод и их усиление, если трудности продолжатся? На кого показывать пальцем?

Множить страшилки и показывать пальцем опасно, могут побить. Но разбираться все равно надо. Поскольку гражданам события не объясняют, частные лица вывешивают в интернете аналитические обзоры кризисов наших дней. Есть две основные группы страшилок. Фактологическая база обеих типично обширна и убедительна. В первую входят геофизические объяснения глобальных проблем, включая и климатические, но биоэкологическая, а нередко и социальная составляющая кризиса в них опускается. Во вторую группу страшилок входят объяснения, исходящие из предельности используемых человечеством разных земных ресурсов, особенно нефти и газа; биоэкологическая составляющая отодвинута или отсутствует также и в них. Имеются и обзоры, в которых интерпретации этих групп перемежаются в разных пропорциях и тоже пугают.

Полуприкрытый страх перед будущим – первая общая черта глобальных народных страшилок. Вторая характерная их черта – отсутствие субъектов кризиса. Нет поэтому и ответа на вечный вопрос “кто виноват и как теперь быть?” Раз виновные субъекты не мы, не с нас и спрос. Третья черта публичных обзоров: обширнейший перечень аномалий по разным природным характеристикам их авторы интерпретируют не как отражение системно-глобального процесса с собственными закономерностями и трендовым развитием, а как случайную смесь независимых переменных самой разной природы – стадо диких коз, случайная смесь ужасов. Это умственная дисперсия. Спасибо, нам не надо. Бояться дисперсий не стоит, поскольку за ними стоят природные тренды, а они устойчивы. Тот, кто их понимает, может и должен нести в себе и проявлять наружу свою уверенность. Такие, понимающие – социальные лекари, хотя бы для психики.

2. Кто же, все-таки, виноват?

Самый популярный вариант глобального субъекта кризиса – “окружающая среда”, природная устойчивость которой объективно нарушилась и она субъективно возмущается в форме кризисных для людей ситуаций. В заглавии книги В.Г. Горшкова “Биотическая регуляция окружающей среды” (V.G. Gorshkov et al. Biotic regulation of the environment. Key issue of global change. 2000) слова “окружающая среда” стоят на том же месте, что и слово “биосфера” в текстах работ, следующих логике В.И. Вернадского.

Название книги Горшкова с коллегами позволяют думать, что субъектом кризиса они считают среду обитания. Но она до Луны и дальше. Как с этим быть? В публикациях В. Г. Горшкова усматривается и другой вариант субъектов кризиса, групповой. Этот очень осведомленный и аналитичный исследователь, имеющий собственный взгляд на природу, выдвигает гипотезу о том, что существует глобальное множество биотических субъектов-сообществ, необходимые которым факторы среды записаны в их гипотетические супергеномы. Ответственными за кризис субъекты-

сообщества В. Г. Горшков прямо не называет, но в контексте его концепции “окружающей среды” такой ответ логически домысливается. Остается только добавить, что во всех современных экосистемах и в сообществах действуют рынки, банки и биржи а в них – замысловатые менеджеры с большими карманами. Запретов и пределов природы рынки не знают, а сочные ткани природы мы сами обгладываем и калечим, что и ведет к антропогенному кризису. С указанием на антропоген с Горшковым согласны, но о генетике сообществ не слышали.

В разных лекция *Школы* концептология “окружающей среды”, взятая из прошлых веков, критикуется как методологически незрелая и непригодная для объяснения явлений в обитаемой области Земли. Кто прав в объяснении природных оснований глобальной нестабильности? Общепринятого ответа пока нет, сообщить нечего. Нет и виноватого, если не считать все человечество за всю его рыночно-либеральную историю.

3. Кто безусловно не виноват

Экология от биологии родилась и это хорошо. Биологию критикуют и поводы есть. Но трудности, проблемы, ошибки бывают всегда и это нормально. Биологи пишут о “торжестве биологии” и ее “Золотом веке”, гордятся своей “синтетической теорией эволюции” (СТЭ). Философам советской выделки этого мало. У них гордость своя – “глобальный эволюционизм” (цитировали компетентный литературный источник и немало объясняли по существу). Не следует ли из всего в *Школе* о биологии критично сказанного, что она слишком много себе позволяла и приписала? Прилично ли ее самохвальство?

Все прилично и ничего лишнего она себе не приписала. Научная биология была и осталась в своих давно объявленных границах: жизнь в форме организмов и их видов и сообществ (без косной среды обитания). Заявлять о своем торжестве и Золотом веке она имеет полное право. Границы биологии преступило только “обще-биологическое” образование и философия с советским лицом. С них и спрос.

IV. Дискуссия между авторами: имеет ли *Школа* прикладное значение?

Один из нас сказал остальным так:
Чтобы книга была востребована и с интересом читалась, в неё стоит добавить хотя бы наметки практического решения проблемы. Тогда это будет не просто “интересно”. Внятное освещение проблемы и конкретные ответы на поставленные вопросы всегда должны быть главным. Если в *Школе* ставиться задача, пусть даже очень важная, вровень с проблемой “мирового порядка”, то должен быть хотя бы приблизительный план действий, или внятные советы. В современном обществе востребована (покупается, читается) связка: «проблема – решение». Только лишь постановка проблемы сейчас может ассоциироваться со связкой: «проблема – раскачивание лодки». Тогда книга будет интересна только профессионалам раскачивания.

Авторы, – продолжает наш коллега – просто обязаны дойти до серьезных мыслей, людей в неспокойное время уравнивающих. План авторов по выходу из кризиса может быть и ошибочным – это же всего-навсего план, идея, но его стоит

предложить. Если дается лишь направление, в котором следует думать, то это неплохо, но мало.

Что мы, авторы, делаем? Мы предельно сгущаем краски: горит человечество. Но при виде "всемирного пожара" и кризиса "мирового порядка" (а не придуманы ли они?) читатель вспоминает свои близкие, ежедневные проблемы. Любой нормальный городской житель от туманной "обитаемой области Земли" отвернется. Он вспомнит обшарпанный подъезд в доме, самого себя и соседа по подъезду. Человек из подъезда недоволен всем – правительством, милицией, врачами, ЖЭКом, ГИБДД, местным начальством, Америкой, соседями и др.: всё плохо, все воры.

Кому нужна – говорит наш коллега, – книга "о главном" без ответа на главное? Как вернуться к устойчивой жизни, из неустойчивого ее состояния? Как, по каким правилам и законам прикажете жить простым людям, если врачи, ЖЭКи, ГИБДД, ближайшее к дому начальство, соседи по квартире, как авторы книги утверждают, вовсе не виноваты? Люди друг друга спрашивают: как практически достичь равновесия в обществе?

Остальные авторы коллеге отвечают: действительно, но однако:

На вопрос "кто виноват и что практически следует делать", ответ Ознает наверняка лишь Главный Конструктор. Но и так понятно, что виновато все человечество за всю его рыночную историю. Мы же, авторы, должны отвечать лишь в рамках своей темы – биогеоэкологии как учебного предмета и биосферы, как главного природного объекта. Но поскольку ситуация кризисная, границы темы пришлось немного расширить. И все же: являются ли какие то "взгляды и смыслы" без списка нумерованных пунктов, эквивалентом прикладных выводов?

Что касается нумерованных выводов, то биосферные правила обитания, да и не только они, в разных лекциях подавались конкретно. Практичны ли они? Ответ дадут сами читатели. Что же касается пользы от "смыслов", то это смотря для кого. Существа "дикие" наши смыслы сочли бы излишними, они им давно следуют. Однако, в период глобальных неурядиц в обитаемой области Земли и для существ "культурных" эти выводы имеют, мы думаем, прикладное значение. Если жить не по правилам, какой стабильности ждать? Из этих же "смыслов" следует еще один, тоже прикладной вывод: предстоит очень серьезно откорректировать концептуальную базу земного природоведения и природоведческого образования, прежде всего биологического, приведя ее в соответствие с совокупностью межнаучных сведений и представлений начала XXI века. Базовая функция природоведческих школ, в любом их ранге – объяснять природу и наше, людское место в ней. И этого им достаточно.

В *Школе*, посвященной интерфейсу науки и образования, мы объясняем, в частности, опасный смысл недоношенной наукой, но широко размножаемого массовой школой понятия "окружающая среда". Вот, опять: телевидение начала XXI века – это *смысловая окружающая среда*, для людского сообщества внутренняя. Она отравлена злобой, как кровь алкоголем. Когда телевидение захвачено правителями, смыслы жизни в стране ими и задаются. А какие смыслы ТВ несет, такие население и впитывает. Экраны ТВ нас же потом, какие мы получились, и отражают. Многим гражданам страшно становится, а население "как бы" довольно, отвечает уклончиво.

Практично, или нет, даваемое в *Школе* разъяснение, что застарелое понятие "окружающая среда" вводит всех в заблуждение? И пусть не посетуют на нас за то, что банальные антитезы ("внешняя – внутренняя", "конечное – бесконечное", "мало – много", "особи - множества", "граждане – население", "дикие – культурные", и т.п.) в книге назойливо повторяются.

Как же без морали? Вроде бы она нужна. Попробуем.

По мысли Главного Конструктора, культура – это интуитивные, как у людей в деревне, умеренность и самоограничение. У немногих городских оно прививается с детства и глубоко осознано, а жителям жирно живущих городов приходится объяснять: то и другое должно выполняться по веществу, энергии и информации, в точности как в деревне. Так называемое *чувство меры* – надежный признак культуры, а бескультурие – это беспредел во всем и в каждом желании по отдельности; хотя кто то очень рассердится.

Аморален ли рыночный тип жизни? Да нет; торговля всем это его мораль. Он на свете один, гол и стоит вертикально. Зачем ему дух? Землей он законно торгует, за землю и нефть воюет. Жизнь по мысли Вернадского совсем другая – “два в одном”: Гео и Био вместе и оба горизонтальны; земля раздается по норме каждому, а войн по закону нет. И дан намек: Гео так же духовно, как Био, никак не меньше. Так же, кажется, думает и Главный Конструктор; у него “три в одном” и одушевлены все. Не условие ли это устойчивости? Жизненный опыт показывает, что на двух ногах, долго не простоишь.

Из сказанного в *Школе* многое весьма тривиально. Это неизбежно, потому что беспорочные истины повернуты вверх ногами. На рынке так и должно быть, это его порядок. Разумно ограниченный либерализм обернулся беспределом жадности. Разрешено все, что не запрещено законом. Отчуждение, раздробление и беспредел – законные тренды рынка. Но у ребенка в насильной семье, человеческое лицо искажается, как и в насильной армии. В силовом обществе, человек гражданином не станет. То же и в массовой школе. Если гуманного лица она не имеет, то выпускает безликих. И чем вертикаль круче, тем круче на вершине безликость. Это видно даже простым глазом. Однако, надежда всегда есть. Надежные “два в одном” – наука и образование, а духовность придет сама. Лидеры умеренных мировых демократий эту пару имеют в виду.

Э то заметки о том, как книга была задумана и что о своей работе и о нашей общей жизни ее авторы думают.

К.М. Хайлов: Трилогия, которую я про себя называю “Путь к биосфере”, была задумана по опыту предшествующих лет. В работе книжного формата у меня были близкие друзья, океанологи Владимир Львович Лебедев и Тамерлан Афиятович Айзатуллин. Они же – мои ближайшие учителя в области современного природопонимания, многолетние коллеги по мыслям и почти ровесники. Общий для нас троих отдаленный предшественник – Владимир Иванович Вернадский, хотя не только он. Примерно в те же годы мне повезло войти в группу московских системологов, тоже друзей-сверстников – Эрика Григорьевича Юдина, Вадима Николаевича Садовского, Игоря Викторовича Блауберга и других. Системная методология 60 – 70-х идеально подходила к природоведению, особенно к *осмыслению океана и биосферы*.

В советской России и в подсоветской Украине, примерно до 70-х годов XX века идеология Вернадского политическим режимом отвергалась. Однако, постепенно она “великому советскому народу” становилась понятнее. В 1974 г изрядным тиражом вышла в свет книга упомянутых выше трех авторов “Океан как динамическая система”, написанная в языке биосферы. Она нашла отклик в научной среде, а в 1979 и 1984 вышли еще две книги серии “Океан”, тех же авторов. В 1989 г возглавляемая В.Л. Лебедевым трилогия была переработана и издана под одной обложкой (“The Living Ocean”).

Опыт работы в трилогии об Океане подсказал мне, что можно и пришло время обратиться к биосфере в целом, как ее понимал Вернадский – с косной твердью, водой, биокосной почвой и всем живым населением, без деления на высших и низших. Косная твердь – очевидная матрица жизни, ее непосредственная *подоснова* (понятие, чутко переосмысленное Томом Айзатуллиным в его “Теории России”). С такой мыслью и была начата работа над новой трилогией. Мне казалось, что писать следует в форме историко-научной экскурсии, мыслительной тропы к биосфере от объектов самых привычных, понятных даже детям. Язык должен быть не слишком сухим, “популярным” в том же смысле, что и в серии “Океан”, т.е. для людей близких к науке, ею увлеченных, со взглядом на природу в разных ее плоскостях.

Возраст подсказывал мне, что будущих соавторов лучше бы искать среди молодых, начинающих, ищущих. Вместе со мной работали талантливые исследователи – соавторы по книгам на другие темы, но для второй и третьей книг о биосфере я решил искать сотрудников не только в следующем за мной поколении, но и через поколение. В формальном составе ЛЭМ таких “через” не было. Это сейчас я говорю – “решил искать”. На самом же деле ничего я не решал. Достаточно было просто жить и работать. Совсем молодые люди, как по заказу, нашлись сами, непохожие ни на старших в ЛЭМ, ни друг на друга. Это были двое старшеклассников из России и из Украины. С ними меня свела одна из летних экологических школ биофака МГУ. Оба явно неглупые, живые и с заметным личным характером. С самого начала их волонтерской, длившейся годами работы в моей лаборатории в белокаменном городе на берегу Черного моря, различие их натур вполне подтвердилось. Начавшись 15 лет тому назад, наше содружество эпизодически, по отдельным проектам продолжалось, а затем мы четверо стали соавторами этой книги, по тематике ЛЭМ – итоговой.

В этой книге я выступаю как ученик трилогии об Океане и как инициатор трилогии о Биосфере. А еще – как “предок”, помнящий науку и образование XX века, с тогда еще человеческим лицом. Вышел я из XX, а пришел в XXI и увидел, что “ли-



Лаборатория экологического метаболизма (22 июня 1993 г Первый ряд: М.А. Измestъева, А.В. Празукин (обернулся). Второй ряд слева направо: Д.М. Смолев, проф. Ишикава Кимитоси (Ун-т Тсукуба, Япония, гость ЛЭМ), К.М. Хайлов, М.А. Рабинович, А.А. Празукин (гость ЛЭМ), С.Е. Завалко (нечетко), С.А. Ковардаков

ца на нем нет”. Совсем уж на ладан дышит? Конец истории? Да нет, просто очень другой. Потому и язык у меня разговорный из двух веков, и оценки событий такие же. В двадцатом веке, как и все граждане сталинскую Историю ВКП(б) изучал и чуть ли не “Ленина видел”, а теперь вот каких вижу...

Таков я по отношению к трем моим соавторам. В ближайшем ко мне поколении это Александр Васильевич, а через поколение – Юрий Юрьевич и Дмитрий Михайлович. Такая “трилогия поколений” – предмет моей особой гордости, которую не стесняюсь открыть.

Мысли, мнения и пути жизни у четырех авторов разные и это хорошо. Мы жили и живем в разных городах и странах, работаем, путешествуем по миру и это нормально. Тренды наших жизней были заданы родителями, и мы им за то благодарны. Главное же осознание жизни на Земле для нас общее и состоит оно в том, что на границе двух веков изменяется мировой порядок, а культура жизни – на большом изломе. Об этом глубоко задумывался Василий Васильевич Налимов, а теперь уже думают многие. Нужны новые поиски, а застарелые мысли и гладкий язык новому веку не в помощь.

Остается добавить, что ЛЭМ – это Лаборатория экологического метаболизма в Институте биологии южных морей НАН Украины. На фото ниже – самые вовлеченные ее обитатели конца XX и начала нового века. Снимок сделан 22 июня 1993 г. Первый ряд: М.А. Измestyева, А.В. Празукин (обернулся). Второй ряд слева направо: Д.М. Смолев, проф. Ишикава Кимитоси (Ун-т Тсукуба, Япония, гость ЛЭМ), К.М. Хайлов, М.А. Рабинович, А.А. Празукин, С.Е. Завалко (нечетко), С.А. Ковардаков (Ю. Ю. Юрченко по живости характера отсутствовал; как и в год выпуска книги – кочует по университетам США). Лаборатория была организована в августе 1974 г и теперь у нее юбилей – 35 лет. На этом ее организатор и неизменный руководитель, вместе с авторами *Школы*, ЛЭМ закрывают. Уже видны новые пути и лидеры.

А.В. Празукин: Что предшествовало написанию этой книги, и кто были моими учителями в мире растений, в мире животных и в мире природы в целом. Понятно, что учителей было много и в первую очередь это мои родители, которые помогли не затеряться в списке возможностей. Один из первых, кто научил меня серьезно понимать и чувствовать природу и, в частности, полюбить море как он сам и полюбить Крымские степи и горы был руководитель биологического и одновременно минералогического кружка Евгений Никандрович Овен (1922 – 1995 гг.), он же создатель Севастопольского краеведческого музея, и первый его директор.

Ирина Алексеевна Ярцева (1918 – 1997 гг.), доцент кафедры физиологии растений Одесского университета им. И.И. Мечникова, это мой старший друг и советчик в годы моей учебы в университете и после его окончания, куратор всех моих студенческих работ, и моих побед в освоении физиологии водорослей.

Кирилл Михайлович Хайлов. С этим человеком меня связывает долгая дружба, а познакомились мы, когда я был еще школьником старших классов, и с этим знакомством началось мое профессиональное понимание природы, которое начиналось с постановки простых экспериментов и интерпретаций полученных результатов, с написанием первых статей и продолжается в обсуждениях крупных природо-ведческих вопросов.

В проект, так мы называли нашу *Школу* в процессе ее написания, я вошел не сразу. Книга уже в целом складывалась, но с моим приходом, по словам ее первого автора, к ключевой теме книги, теме обитания, добавился второй содержательный центр, фитоиерархия и связанные с ней вопросы обитания и вопросы пространственной организации биокосных фитосистем.

Четыре автора *Школы*, четыре характера, с разными представлениями о жизни, объединились, с общим пониманием реальной ситуации в *Биосфере* и роли в ней человека. «Борьба против всех» должна смениться общей гармонией, что характерно для *природы*. И чтобы не быть дикими в своих поступках по отношению к *Природе* и к самим себе, надо понимать и следовать «культуре диких», знать меру во всем.

В процессе написания *Школы*, между авторами, помимо постоянного научного обсуждения, существовал своеобразный дискурс (даже в мелочах, хотя в таком деле как в нашем, не должно быть мелочей). Как излагать то или иное мнение, включать ли его или нет и какими словами его выразить?

Мой десятилетний лекционный опыт работы в Севастопольском филиале Одесского государственного педагогического университета им. К.Д. Ушинского оказался полезным при подготовке лекций *Школы*.

В двух программных курсах лекций: «Основы экологии» и «Природоведение» я легко обхожусь без широко распространенного понятия «внешняя среда», а словосочетание «защитить природу» заменил словами «жить в гармонии с природой». Если есть «нападающие» на *природу*, то есть и ее «защитающие», те и другие люди, и кем бы они ни были, без *природы* им не прожить. Важнейшая установка прошедших лет, максимальное удовлетворение потребностей усредненного индивидуального человека сейчас не работает, и не могла работать. Необходима другая установка. Чтобы выжить - человечество должно следовать законами *Биосферы* (А знаем ли мы их?), функционирование человечества должно оптимально вписываться в организацию *Биосферы*. Основная причина экологического кризиса это нарушение пропорций между живой и косной составляющих биосферу. А значит, выход из кризиса – восстановление и сохранение этих пропорций.

И буквально несколько слов о современных студентах, о моих слушателях. Студенты этого года совсем не похожи на тех, которые были у меня десять лет назад, работать стало легче, многие вопросы уже им известны со школы и нет необходимости еще раз им их разъяснять, и что важно, всё новое быстро схватывают. И важно то, что практически все правильно понимают, что надо делать, если «пожар в доме». Не надо заниматься покраской пола, и побелкой стен, мало пользы от защиты отдельно взятого вида животного или растения, а надо спасать от пожара весь наш общий *дом – биосферу* и тогда исчезающие виды животных и растений останутся жить наверняка и человек с ними.

Д.М. Смолев: Еще в школьные годы, благодаря Московскому университету, я попал в замечательную научную среду, в Лабораторию экологического метаболизма ИНБЮМ в Севастополе. Люди, с которыми я рос и работал в лаборатории, оказали неоценимое влияние на формирование моего научного склада и человеческого характера. Мне со школьных лет близок системный и параметрический подходы, без которых любая современная наука уже не может обойтись, да и наукой считаться не может. Теперь я профессионал в узкой области медицины - врач МРТ. Однако с огромным удовольствием я принял участие в книге, которая является одной из самых успешных попыток взгляда на жизнь в биогеохимическом контексте. Так как современная медицина ощущает в этом всё большую потребность (не только в узких и высокотехнологичных профессиональных кругах, но даже среди пациентов), стало уже поговоркой «что лечить нужно не болезнь, а человека». Уже в ближайшем будущем столкнёмся с этой потребностью. Книга открывает ещё более широкий взгляд на жизнь, здоровье биосферы и как следствие – на здоровье пациента.

Литература

- Абатуров Б.Д. Биопродукционный процесс в наземных экосистемах. – М. : Наука, 1979. – 127 с.
- Агробиология. М.: Сельхозгиз, 1952. – 761с.
- Айзатуллин Т.А. Теория России. Геоподоснова и моделирование. М.: Серия “Семи-нары С.Г. Кара-Мурзы”, 1999. – 70 с.
- Айзатуллин Т.А. Теория России и русских этноконтактов // Альманах «Восток», №2, май 2003. (http://www.situation.ru/app/j_art_34.htm)
- Айзатуллин Т.А., Лебедев В.Л., Суетова И.А., Хайлов К.М. Граничные поверхности и география океана. //Вестник МГУ, Серия геогр. – 1976. – Т3, –С. 25 – 35.
- Айзатуллин Т.А., Лебедев В.Л., Хайлов К.М. Океан. Активные поверхности и жизнь – Л: Гидрометеиздат, 1979. – 192 с
- Айзатуллин Т.А., Лебедев В.Л., Хайлов К.М. Океан. Фронты, дисперсия, жизнь – Л: Гидрометеиздат, 1984. –192 с
- Баблюяц. А. Молекулы, динамика и жизнь. М.: Мысль, 1988. – 271 с.
- Базилевич Н. И., Родин Л. Е. Географические закономерности продуктивности и круговорота химических элементов в основных типах растительности Земли. / Общие теоретические проблемы биологической продуктивности. – Л.: Наука, 1969.
- Биология. Справочник студента. М.: Изд. “Акт”, 2001. – 638 с.
- Биология. Учебное пособие для учащихся. М.: Просвещение, 1988. – 206 с.
- Биологический энциклопедический словарь. М.: Советская энциклопедия, 1986. – 831с.
- Биохимическая трофодинамика в морских прибрежных экосистемах. Киев: Наукова думка., 1974. – 175с.
- Блауберг И.В., Юдин Э.Г. Становление и сущность системного подхода. М: Наука, 1973. – 270 с.
- Блауберг И.В., Садовский В. Н., Юдин Э.Г. Системный подход в современной науке. / Проблемы методологии системного исследования. 1970. – С.7 – 48.
- Богданова Д.К. Общая биология в схемах и таблицах. Изд. “БАО”. Донецк, 1998. – 94с.
- Бурковский И.В. Морская биогеоценология. Организация сообществ и экосистем. М.: Изд. КМК. – 2006. – 285 с.
- Вернадский В.И. Философские мысли натуралиста. М.: Мысль, 1967. – 374 с.
- Вернадский В.И. Размышления натуралиста. Пространство и время в неживой и живой природе. М.: Наука, 1976 (1975). – 173 с..
- Вернадский В. И. Избранные сочинения. – М.: Наука, 1988. – 328 с
- Всесвятский Б.В. Системный подход к биологическому образованию в средней школе. М.:Просвещенире, 1985. – 143 с.
- Восьмой Международный конгресс по логике, методологии и философии науки. Abstracts. М.: Наука, 1987. – Т.1 – 5.
- Георгиева Л.В. Видовой состав и динамика фитоценоза / Планктон Черного моря. – Киев: Наук. Думка, 1993. – С. 31 – 55.
- Гиляров М., Криволуцкий Д. Жизнь в почве. М.: Молодая гвардия, 1985. – С. 76 – 79.
- Горшков В.Г. Энергетика биосферы и устойчивость состояния окружающей среды // Итоги науки. Теоритические и общие вопросы географии. – 7. – М.: ВИНТИ, 1990. – 240 с.
- Горшков В.Г. Физические и биологические основы устойчивости биосферы. М. ВИНТИ, 1995. – 470 с.

- Докучаев. В.В. Русский чернозем. Отчет Вольному экономическому обществу. М. – Л. –1936. – с. 5 – 14.
- Жарков П.Л., Смолев Д.М. Остеоденситометрия - важный, но недостаточный метод диагностики остеопороза. Материалы научно – практической конференции «Комплексная лучевая диагностика социально – значимых заболеваний», Челябинск, 2003
- Жарков П.Л., Смолев Д.М. К методике трактовки остеоденситометрических данных. Материалы V научно-практической конференции «Современные тенденции комплексной диагностики и лечения заболеваний скелетно-мышечной системы» Москва, Российский Университет Дружбы Народов, 2004
- Жарков П.Л., Смолев Д.М. Рекомендации по физической активности пациенту с остеопорозом. // Остеопороз и остеопатии. – 2004, № 3. – С. 46 – 48.
- Жарков П.Л., Смолев Д.М., Магомедов М.К., Зуева А.В. Зависимость результатов остеоденситометрии от возрастных особенностей скелета при поиске системного остеопороза. // Вестник РНЦРР МЗ РФ. – 2005. – № 4.
(http://vestnik.rncrr.ru/vestnik/v4/papers/zeva_v4.htm)
- Жарков П.Л., Смолев Д.М., Магомедов М.К., Зуева А.В. Влияние возрастных особенностей скелета на результаты остеоденситометрии при поиске системного остеопороза // Вопросы курортологии физиотерапии и лечебной физической культуры. – 2005, №2. – с. 30 – 34.
- Заварзин Г.А. Индивидуализм и системный анализ - два подхода к эволюции. // Природа, 1999. – №1. – С.23 – 34.
- Заварзин Г.А. Недарвиновская область эволюции // Вестник РАН. – 2000. – 70, №5. – С. 403 – 411.
- Заварзин Г.А. Становление биосферы. //Вестник Российской АН. – 2001. –71, № 11. – С. 988 – 1001.
- Заварзин. Г.А. Лекции по природоведческой микробиологии. – М.; Наука, 2004. – 348с.
- Заде Л. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. Математика, Новое в зарубежной науке. Л.- М.: Мир, Вып.3. – 1976.
- История биологии. С начала XX века до наших дней. М.: Наука. 1975. – 659 с.
- Иванов Н.Д. Дарвинизм и теории наследственности. М.: Изд. АН СССР, 1960. – 278 с.
- Иванченко П.Л. Введение в биологию. М.: Советская наука, 1954. – 359 с.
- Казимиров Н.И., Морозова Р.М. Биологический круговорот веществ в ельниках Карелии. – Л. : Наука, 1973. – 224 с.
- Калугина-Гутник А.А. Фитобентос Черного моря. Киев, 1975.
- Каменир Ю.Г. Количественный анализ внутренних потоков экологических систем //Ан УССР. Ин-т биологии южных морей, Севастополь, 1983. 27 с. Деп. В ВИНТИ 15.05.83. № 2796 – В83.
- Каменир Ю.Г. Размерная структура циклических систем: взаимосвязь параметров //Экология моря, 1986, Вып. 24. – С. 24 – 51.
- Каменир Ю.Г. Попытка интерпретации одного из кризисов двадцатого века //Журнал Всесоюзного химического общества им. Д. И. Менделеева, 1991. – 36. – № 3. – С. 321 – 327.
- Карманова И.В. Судницына, Т.Н., Ильтна Н.А. Пространственная структура сложных Сосняков. М: Наука, 1987. – 199 с.
- Карпинская Р.С. Теория и эксперимент в биологии. Мировоззренческий аспект. М.: Наука, 1984. – 461 с.

- Китаев С.П. Основы лимнологии для гидробиологов и ихтиологов. Петрозаводск, 2007. – 394 с.
- Ковалева Т.М. Состав и суточные изменения фитопланктона / Биологическая структура и продуктивность планктонных сообществ Средиземного моря. – Киев: Наук. Думка, 1975. – С. 31 – 43.
- Ковалева Т.М., Кузьменко Л.В. Вертикальное распределение и суточные изменения фитопланктона / Экологические системы в активных динамических зонах Индийского океана. – Киев: Наук. Думка, 1986. – С. 64 – 69.
- Ковардаков С.А., Празукин А.В., Фирсов Ю.К., Попов А.Е. Комплексная адаптация цистозир к градиентным условиям (научные и прикладные проблемы). Киев: Наук. Думка, 1985. – С.
- Ковда В.А. Биосфера и человечество. / Биосфера и её ресурсы. – М.: Наука, 1971. – С. 7 – 53.
- Козловский Ф.И. Теория и методы изучения почвенного покрова. М. Геос. 2003. – 535 с.
- Кондратьева И. В. О принципах отбора видов водорослей Украины, подлежащих первоочередной охране. Альгология. 2002. – 12, № 1. с. 3 – 33.
- Коновалов А.Н., Корниенко В.Н. Пронин И.Н. Магнитно - резонансная томография в нейрохирургии. М.: Видар, 1997. – 472 с.
- Кореякова И.Л. Макрофитная растительность одесских лиманов // Гидробиол. журн. – 1967. – 3, № 1 – С. 3 – 9.
- Критерий живого. М.: Изд.: МГУ. – 1971. – 84 с.
- Кучеренко Н.Е., Вервес Ю.Г., Балан П.Г. и др. Общая биология. Учебник для средних общеобразовательных школ, Киев: Генеза. – 2001. – 446 с.
- Ларин И. В. Луговое хозяйство и пастбищное хозяйство. Л.: Колос, 1969. – 548 с.
- Лайтфут Э. Явления переноса в живых системах. М.: Мир, 1977. – 518 с.
- Лебедев В.Л. Граничные поверхности в океане. М.: МГУ, 1986. – 192 с.
- Лебедев В. Л., Айзатуллин Т. А., Хайлов К. М. Океан как динамическая система. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1974. – 205 с
- Лима-де-Фариа А. Эволюция без отбора. Автоэволюция формы и функции. М.: Мир, 1991. – 455 с.
- Лисицын А.П., Виноградов М.Е. Глобальные закономерности распределения жизни в океане. / Биогеохимия океана. М.: Наука, 1983, с.112 – 127.
- Лысенко Т.Д. О положении в биологической науке. Доклад на сессии Акад сельско-хоз. наук. М.: Сельхозгиз, 1948.
- Лысенко Т.Д. Агробиология. М.: Сельхозгиз, 1954. – 781с.
- Мандельброт Б. Фрактальная геометрия природы. М.: Институт компьютерных исследований, 2002. – 423 с.
- Маштакова Г.П., Роухияйнен М.И. Сезонная динамика фитопланктона / Основы биологической продуктивности Черного моря. – Киев: Наук. Думка, 1979. – С. 85 – 88.
- Монин А.С. История Земли. М.: Наука, 1977. – 228 с.
- Монин А.С., Шишков Ю.А. История климата. Л.: Гидрометеиздат, 1979. – 407
- Морской атлас. Термины, понятия, справочные таблицы. М.: Мин. обороны СССР, Морфлот, 1980. – 187с.
- Налимов В.В. В поисках новых смыслов. М.: Прогресс, 1993. – 261 с
- Нечаева Н.Т. Влияние антропогенного фактора на экосистемы пустынь Средней Азии. – Пробл. Освоения пустынь. – 1976, № 3\4. – с.22 – 28.
- Обухова Ф.Д., Кедрова С.И. Использование пастбищ в овцеводческих хозяйствах. М.: Колос, 1968. – с. 206.

- Общая биология. Учебник для 9-10 классов. Под ред. Ю.И. Полянского. М.: Просвещение, 1971. – 335 с.
- Общая биология. Учебник для 9-10 классов. Под ред. Ю.И. Полянского. М.: Просвещение, 1986. – 303 с.
- Общая биология. Учебник для 10-11 классов средней школы. Под ред. Д.К. Беляева и А.О. Рувинского М.: Просвещение, 1991. – 271 с.
- Общая биология. Учебник для средних общеобразовательных школ. Киев: Генеза, 2001. – 446 с.
- Одум Ю. Основы экологии. М.: Мир, 1975. – 740 с.
- Остроумов С.А. Введение в биохимическую экологию. М.: Издат. МГУ, 1986. – 176 с.
- Организация и эволюция живого. М.: Наука, 1972. – 216 с.
- Павлова Е.В. Движение и энергетический обмен морских планктонных организмов. – Киев.: Наукова думка, 1987. – 208 с.
- Паламарчук М.М., Закорчевна Н.Б. Водный фонд Украины. Киев: Ника-Центр, 2001. – 387 с.
- Парамонов А.А. Курс дарвинизма. М.: Наука, 1945. – 432 с.
- Печуркин Н.С. Энергетические аспекты развития надорганизменных систем. – М.: Наука, 1982. – 113 с.
- Правдин Ф.Н. Дарвинизм. М.: Просвещение, 1968. – 431 с.
- Празукин А.В. Феноменологическое описание роста ветвей *Cystoseira barbata* как основа периодизации их онтогенеза // Экология моря. 1983. вып. 13. С. 49–58.
- Празукин А.В. Экспериментальные водные биокосные фитосистемы (структура, функция). / Акватория и берега Севастополя: экосистемные процессы и услуги обществу (Спецвыпуск “Экологии моря”). – Севастополь: Аквавита, 1999. – С. 47 – 69.
- Празукин А.В. Структура кронового пространства слоевища черноморской бурой водоросли цистозир (*Cystoseira crinita* (Desf.) Bory) // Альгология. – 2000. – **10**, № 2. – С. 119 – 130.
- Празукин А. В. Формирование фитообрастаний на искусственных рифовых конструкциях // Альгология, 2001. –11. – № 1. - С. 57 - 69.
- Празукин А. В. Водные биокосные фитосистемы природного и антропогенного происхождения (структурное сопоставление) // Морской экологический журнал. – 2003а. – **2**, № 2. – С. 16 – 28. (<http://repository.ibss.org.ua/dspace/handle/99011/45>)
- Празукин А. В. Структурное подобие биокосных фитосистем разного уровня организации // Вісник Одеського національного університету. – 2003б. – 8, Вип. 6. – С. 55 – 60. (http://www.nbuv.gov.ua/portal/Natural/Vonu/Biol/2003_8-6.pdf)
- Празукин А.В. Иерархическое членение обитаемого пространства и его заполнение биоорганическим веществом на примере черноморской водоросли цистозир (*Cystoseira crinita* (Desf.) Bory) // Морск. экол. жур. – 2005а. – **4**, № 3. – С. 15 – 36. (<http://repository.ibss.org.ua/dspace/handle/99011/216>)
- Празукин А.В. Биокосные фитосистемы в метрике фитогидросферы // Системы контроля окружающей среды: Сб. науч. тр. / НАН Украины. МГИ: – Севастополь, 2005б. – С. 288 – 292
- Празукин А.В. Водные биокосные фитосистемы и их пространственная иерархия // Наукові записки Тернопільського державного педа. ун-ту ім. Володимира Гнатюка. Сер. Біологія. – 2005в. – Спец. вип. Гідроекологія, № 4 (27). – С. 189 – 191
- Празукин А.В. Физико-геометрические параметры биокосных фитосистем телесного и надтелесного уровней организации // Системы контроля окружающей среды: Сб. науч. тр. / НАН Украины. МГИ: – Севастополь, 2006. – С. 371 – 374

- Празукин А. В. Различные приемы описания фитосистем разного уровня организации на примере зеленой водоросли бриопсис (*Bryopsis Lamouroux*) Черного моря. // Морск. экол. жур. – 2007а. – 6, № 1. – С. 66 – 87. (<http://repository.ibss.org.ua/dspace/handle/99011/325>)
- Празукин А.В. Функциональность архитектоники кроны зеленой водоросли бриопсис (*Bryopsis hypnoides* Lamour) Черное море. / Системы контроля окружающей среды: Сб. науч. тр. / НАН Украины. МГИ: – Севастополь, 2007б. – С. 342 – 346
- Празукин А.В. Структурно-функциональная организация кронового пространства зеленой водоросли бриопсис (*Bryopsis hypnoides* Lamour), Черное море (Одесса, ОГУ) // Вісник Одеського національного університету. – 2008а. – Т. 13, Вип. 4. – С. 93 – 98. (http://www.nbu.gov.ua/portal/Natural/Vonu/Biol/2008_13-4.pdf)
- Празукин А.В. Морфофункциональные образы растения (на примере многоклеточных водорослей) // Вестник Тверского государственного университета серия «Биология и экология» – 2008б. – Вып. 9. – С. 206 – 218
- Празукин А. В., Бобкова А. Н., Евстигнеева И. К., Танковская И. Н., Шадрин Н. В. Структура и сезонная динамика фитокомпоненты биокосной системы морского гиперсолёного озера на мысе Херсонес (Крым) // Морск. экол. жур. – 2008б. – 7, № 1. – С. 61 – 79. (<http://repository.ibss.org.ua/dspace/handle/99011/800>)
- Празукин А. В., Хайлов К. М. Размерный спектр и внешний углеродный обмен структурных элементов слоевища цистозиры // Экология моря. – 1986. – Вып. 24. – С. 34 – 42.
- Празукин А.В., Хайлов К.М. Пространственная организация полога диатомового обростания на экспериментальных конструкциях в сравнении с другими фитосистемами // Гидробиол. журн. – 1998. – 34, № 5. – С. 38 – 48.
- Празукин А.В., Хайлов К.М. Водообмен у растений в иерархии кроновых и субкроновых пространств // Сборник научных трудов Луганского НАУ. Серия Биологическая. – Луганск: Элтон-2. 2008. - № 83. – С. 80 – 95
- Празукин А.В., Хайлов К.М., Ковардаков С.А. Сравнение структурно-функциональных соотношений в морских фитосистемах разного уровня организации на основе их унифицированного описания) // Морск. экол. жур. – 2003. – 2, №3. – С.51 – 62. (<http://repository.ibss.org.ua/dspace/handle/99011/152>)
- Празукин А.В., Хайлов К.М., Юрченко Ю.Ю. Водно-воздушные соотношения и массоперенос в разномасштабных биокосных системах. // Сборник научных трудов Луганского НАУ. Серия Биологическая. – Луганск: Элтон-2, 2009. – № 98. – С. 109 – 124.
- Пригожин И, Стенгерс И. Порядок из хаоса. М.: Прогресс, 1986. 263 с.
- Пригожин И., Стенгерс И. Время, хаос, квант. М.: Прогресс, 1994. 266 с.
- Проблемы методологии системного исследования. М.: Мысль, 1970. – 454 с.
- Путилов К.А. Курс физики. М.: Гос. изд. технико-теоретической литературы, 1956. – 708 с.
- Реймерс Н.Ф. Азбука природы. Микроэнциклопедия биосферы. М.: Знание, 1980. – 205 с.
- Росс Ю.К. Радиационный режим и архитектоника растительного полога. Л.: Гидрометеиздат, 1975. – 342 с.
- Росс Ю.К. Радиационный режим и архитектоника растительного полога. Л.: Гидрометеиздат, 1975. – 342 с.
- Садовский М.А. О распределении размеров твердых отдельностей. ДАН СССР. – 1982. – 250. с. 69 – 72.
- Садовский М.А., Болховитинов Л.Г., Писаренко В.Ф. О свойстве дискретности горных пород, Известия АН СССР. Сер. Физика Земли. М.: 1982, № 12.

- Садовский М.А., Болховитинов Л.Г., Писаренко В.Ф. Деформирование геофизической среды и сейсмический процесс. М.: Наука, 1987. – 100 с.
- Симонов Ю.Г. Важные шаги к познанию сущности экологической геоморфологии. Известия АН. Серия географическая: 2003. – № 5. – с. 107 – 112.
- Скворцов А.К. Проблемы эволюции и теоретические вопросы систематики. М.: КМК. 2005. – 292 с.
- Скопинцев Б.А., Тимофеева С.Н. Содержание органического углерода в воде океана. // ДАН СССР. –1960. –133, № 3. – С. 1323 – 1327
- Смолев Д.М. Особенности денситометрической диагностики остеопороза у пациентов пожилого возраста: Автореф. дис. ... канд. мед. наук Москва – 2005. – 21 с.
- Сытник К.М. Кризис окружающей среды: оценка, развитие, возможные последствия. Укр. ботан. журн. –1994. –51, № 6. с.5 – 17.
- Тооминг Х.Г. Солнечная радиация и формирование урожая. Л.: Гидрометеиздат, 1977. – 200 с.
- Тооминг Х.Г. Экологические принципы максимальной продуктивности посевов. Гидрометеиздат. Л: 1984. – 263 с.
- Федоров В.Д., Гильманов Т.Г. Экология. М.: Изд. МГУ, 1980. – 462 с
- Фирсов Ю.К. Связь физиологических функций морфологических элементов слоевища цистозир с их возрастом и структурой. //Биология моря. 1978, вып. 44. С. 68 – 74.
- Фирсов Ю.К. Иерархический структурно-функциональный анализ морской многоклеточной водоросли цистозира барбата: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Севастополь, 1984.
- Фитонциды. Киев: Наукова думка, 1981. – 328 с.
- Флейшман Б.С. Основы системологии. М. Радио и связь, 1982. – 368 с.
- Фролов И.Т. Очерки методологии биологического исследования (Система методов биологии). М.: Мысль, 1965. – 286 с.
- Фурман А.Ф. Миуччинское учение о закономерностях развития органического мира. М.: Госполитиздат, 1957. – 227 с.
- Хайлов К. М. Экологический метаболизм в море – Киев: Наукова думка, 1971. – 252 с.
- Хайлов К. М. «Жизнь» и «жизнь на Земле»: две научные парадигмы // ЖОБ. – 1998. – 59, № 2. – С. 137 – 151.
- Хайлов К. М. Водообмен на разных уровнях биологической и экологической организации и его эволюция // Успехи соврем. биол. – 1998. – 118, № 4. – С. 305 – 321.
- Хайлов К. М. Биогеоморфологические ряды в биосфере Земли // Успехи сврем. биол. – 2000. – 120, № 5. – С. 425 – 432.
- Хайлов К. М. Что такое жизнь на земле – Одесса: "Друк", 2001. – 237 с.
- Хайлов К. М. Косное вещество биосферы и распределение живой массы растений, животных и людей // Известия АН. Серия географическая. – 2003. – № 5. – С. 7 – 15.
- Хайлов К.М., Бимбад Г.Е., Ковардаков С.А., Празукин А. В., Юрченко Ю.Ю. Экспериментальные конструкции типа "искусственный риф" и экологические требования к ним. //Акватория и берега Севастополя: экосистемные процессы и услуги обществу (Спецвыпуск "Экологии моря"). Севастополь: Акватита. – 1999. – С. 25 – 33.
- Хайлов К.М., Ковардаков С.А., Празукин А.В. Биологические поверхности многоуровневых фитосистем и расчет их численных характеристик // Морской экологический журнал. – 2004. – 3, № 3. – с. 61 – 77. (<http://repository.ibss.org.ua/dspace/handle/99011/90>)

- Хайлов К.М., Ковардаков С.А., Шошина Е.В. Связь объемной концентрации донных водорослей с геометрическими параметрами обитаемых пространств // *Океанология*. – 2002. – 42, №3. – С. 402 – 407.
- Хайлов К. М., Парчевский В. П. Иерархическая регуляция структуры и функции морских растений. – Киев: Наукова думка, 1983. – 253 с.
- Хайлов К.М., Празукін О.В. Співвідношення води, повітря і біоорганічної речовини в фітосистемах різного рівня організації. // *Аграрний вшник Причорномор'я*. Збірник наукових праць. Сільськогосподарські та біологічні науки. Вип. 46. – Одеса: СМІЛ, 2008 – С. 65 –76
- Хайлов К.М., Празукин А.В., Губанов В.В. Сравнительная оценка концентрации фитомассы в обитаемом пространстве наземных и водных биокосных фитосистем // *Экология*. – 1996. – № 1. – С. 243 – 248
- Хайлов К.М., Празукин А.В., Ковардаков С.А. Лаборатория экологического метаболизма Института биологии южных морей, Севастополь (1962 – 2008 гг.) // *Морской экологический журнал*. – 2009. (в печати).
- Хайлов К.М., Празукин А. В., Ковардаков С. А., Рыгалов В.Е. Функциональная морфология морских многоклеточных водорослей – Киев.: Наукова думка, 1992. – 280 с.
- Хайлов К.М., Празукин А.В., Минкина Н.И., Павлова Е.В. Концентрация и функциональная активность живого вещества в сгущениях разного уровня организации // *Успехи совр. биол.* – 1999. – 119, № 1. – С. 3 – 14.
- Хайлов К.М., Празукин А. В., Рабинович М.А., Чепурнов В.А. Связь биологических параметров фитообрастания с физическими параметрами экспериментальных “рифовых” конструкций в еврифируемой морской акватории // *Водные ресурсы*. – 1994. – 21, № 2. – С. 166 – 175
- Хайлов К.М., Празукин А. В., Смолев Д.М. Формирование и рост поселений водорослей на экспериментальных объектах // *Ботанический журнал*. – 1995. – 80, N.9. – С. 21–34
- Хайлов К.М., Рыгалов В.Е., Ковардаков С.А., Празукин А.В. Связь концентрации фитомассы и объема ближайшего функционального пространства в водных биокосных системах // *Водные ресурсы*. – 1995. – 22, № 6. – С.738 – 745.
- Хайлов К.М., Шошина Е.В., Смолев Д.М. Сравнение собственной интенсивности водообмена в тканях и органах низших водных и высших наземных растений // *Ботанический журнал*. – 1997. – 82, N.5. – С. 86 – 95
- Хайлов К.М., Юрченко Ю.Ю., Смолев Д.М. Методология исследования биокосной системы “твердый субстрат - организмы – обтекающая их вода”. // *Гидробиологический журнал*. – 2000. – 24, № 3. – с.79 – 90.
- Хайлов К.М., Юрченко Ю.Ю., Снигирев С.М. От растения к биосфере: Антиучебник. – Одесса. Друк. – 2005. – 271 с.
- Хайлов К.М., Юрченко Ю.Ю., Смолев Д.М., Празукин А.В. Геометрические условия заполнения гидробионтами пространств и поверхностей искусственных жилищ // *Успехи соврем. биологии*. – 1998. – 118, Вып.5. – С.585 – 596.
- Хайлов К.М., Юрченко Ю.Ю., Шошина Е.В. О связи геометрических, биологических и трофодинамических характеристик водных биокосных фитосистем // *Океанология*. 2001. – 41, № 3. – С. 400 – 407.
- Холинг К.С (Ред). Экологические системы. Адаптивная оценка и управление. – М.: Мир. – 1981. – 396 с.
- Хорстхемке В., Лефевр Р. Индуцированные шумом переходы. Теория и применение физике, химии и биологии. – М.: Мир. – 1987. – 397 с.
- Шафранова Л.М. Растение как жизненная форма (к вопросу о содержании понятия «растение») // *Журн. общ. биологии*. 1990. – 51, № 1. – С. 72 – 88.

- Шатилов И.С., Чудновский А.Ф. Агрофизические, агрометеорологические и агротехнические основы программирования урожая. Гидрометеоиздат. Л: 1980. – 320 с.
- Шеляг-Сосонко Ю.Р., Крисаченко В.С., Мовчан Я.И. Методология геоботаники. Киев.: Наукова думка. 1991. 269 с.
- Юдин Э.Г. Системный подход и принцип деятельности. М.: Наука, 1978. – 391 с.
- Юрченко, Ю.Ю. Новые подходы к созданию “искусственных рифов”// Перспективные направления развития экологии, экономики Одесса, ОЦНТИ. 1999. С. 317 – 322.
- Юрченко, Ю.Ю. Функциональные характеристики конструкции для обрастания “искусственный риф” БИМЛЭМ //Акватории и берега Севастополя (Спецвыпуск “Экология моря”).Севастополь: Аквавита, 1999. – С. 36 – 46.
- Юрченко Ю.Ю. Биогеохимический подход в изучении обрастания и задачах конструирования искусственных рифов: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Севастополь, 2000. 21 с.
- Эйнштейн А., Инфельд Л. Эволюция физики. ”Молодая гвардия”, 1966. – 267 с.
- Экологическая биофизика. Том 3. Экология и биофизика: время интеграции. Под ред. И.И. Гительсона и Н.С. Печуркина. М.: Логос, 2002. – 303 с.
- Audesirk T., Audesirk G. Biology. Life on Earth. Prentice Hall. New Jersey, 1996. – 947 p.
- Biophysikal Techniques in Photosynthesis. Mifflin Co. Boston. 1992. – 407 p.
- Differential Diagnosis in Megnetic Resonance Imaging. Francis A. Burgener, Steven P. Meyers., Theime., Stuttgart, New York, 2002
- Downing J.A, Prairie Y.T., Cole J.J., Duarte C.M. at al, The global abundance and size distribution of lakes, ponds, and impoundments // Limnol.Oceanogr. – 51(5). – 2006. – pp. 2388 – 2397.
- Gorshkov V.G., Gorshkov V.V., Makarieva A.M. Biotic regulation of the environment. Springer, 2000. – 364 p.
- Hillebrand H., Durselen C-D., Krischtel D., Zohary T. Biovolume calculation for pelagic and benthic microalgae // Jounal Hycology.1999. –35 – p. 403 – 424.
- Hynes. H.B.N. The ecology of running waters. University of Toronto press. – 1970. – 555 p.
- Loveloc, J.E. Gaia. A new look at Life on Earth. N.Y. Oksford Univ. Press. – 1982. –157 p
- Lebedev V., Aizatulin T., Khailov K. The Living Ocean – Moskow: Progress Publishers, 1989. – 327 p.
- Niklas K. J. Allometry: the skaling of form and process. Univ.Chikago Press.1994.
- Simpson G.G., Pittendrigh C.S., Tiffany I.H. Life. An Introduction to Biology. N.Y, 1957. – 845
- Sourina A. Form and function in marine phytoplankton. // Biol. Rev. – 1982. – 57, pt 3. – P. 347 – 394.
- Schmid P.E., Tokeshi M., Schmid-Araya. G. Relation between density and body size in streams// Science. – V.289. – September, 2000. –p.1557 – 1559.
- Vogel S. Life in moving fluids. The physical biology of flow. Willard Grant Press. Boston, 1981. – 352 c.
- Watt F.S. Patterns and process in the plant community //J. Ecol. –1947. –35. –pp.1 – 22.
- West G.B., Brown J.H., Enquist B.J. A general model for the structure and allometry of plant vascular systems. // Nature. –1999. – 400, № 6745. – pp. 664 – 667.

Оглавление

Кому и как этой книгой можно воспользоваться?	5
--	---

ЧАСТЬ I ОБИТАЕМАЯ ОБЛАСТЬ ЗЕМЛИ В НАЧАЛЕ XXI ВЕКА

Тема 1. Земля, наука, образование	7
<i>Введение в тему</i>	7
1.1. Люди, среда обитания и наука. Вводный очерк	10
1.2. Земные природные объекты и их разнообразие	20
1.3. Законы вселенские, биологические и социальные: совместное их действие в биосфере	29
1.4. Отражение земной природы в биоэкологическом образовании: знания на пороге университета	39
Тема 2. Самоосознание науки. Методология	47
<i>Введение в тему</i>	47
2.1. Методология. Объекты, понятия, образы и концепции	50
2.2. Сравнения, масштабы, типовые задачи и модели	56
2.3. Дисперсия и тренды. “Морфологическая периферия” на идеальных геометрических фигурах	63
2.4. Уроки научно-методологической эволюции	70
Тема 3. Земля, обитаемое пространство и обитание как процесс	79
<i>Введение в тему</i>	79
3.1. Земля как матрица жизни	82
3.2. Обитание как экологический процесс	90
3.3. Обитание: присвоение земного пространства и владение им	95
3.4. Обитание, как присвоение земной поверхности (Всеобщая собственность на землю)	100
Тема 4. Формы, общие правила и природные нормы обитания	106
<i>Введение в тему</i>	106
4.1. Обитание растений на тверди, подводной и не только	107
4.2. Обитание растений друг на друге	116
4.3. Обитание в норах, гнёздах, коконах	120
4.4. Человекообитание	125
4.5. Условия, природные правила и нормы обитания	130

ЧАСТЬ II ОСМЫСЛЕНИЕ ЖИЗНИ И БИОСФЕРЫ

<i>Введение</i>	136
Тема 5. Растения, фитосистемы и фитоиерархия	139
<i>Введение в тему</i>	139
5.1. Функциональная морфология растения в онтогенезе	140
5.2. Типизация и формализация иерархически соподчиненных объектов ..	144

5.3.	Формирование обитаемых пространств фитосистем биогенного происхождения	148
5.4.	Формирование обитаемых пространств фитосистем техногенного происхождения.....	156
5.5.	Биокосные фитосистемы в метрике биогидросферы.....	160
5.6.	Как организована и живет биосфера? Вопрос остается открытым.....	163

Тема 6. Адаптации, ручное управление и диагностика биокосных объектов.....	168
6.1. Управление обитанием в биокосных объектах.....	168
6.2. Учебные модели распределения растений на экспериментальном рельефе Земли.....	177
6.3. Лучевая диагностика биокосных объектов. Принципы, методы, практика.....	186

Тема 7. Молекулярная экология.....	194
<i>Введение в тему.....</i>	<i>194</i>
7.1. Учебные образы кольцевых биосферных потоков.....	195
7.2. Научно-историческое подобие “новой химии” и экологии.....	206
7.3. Экологический метаболизм.....	211
7.4. Молекулярные связи и отношения в наземных сообществах.....	221
7.5. Косные и живые тела в потоках воды и воздуха.....	225
7.6. Геометрические характеристики водных растений и адаптации к потоку воды.....	232

Тема 8. Водоемы и водные экосистемы.....	238
<i>Введение в тему.....</i>	<i>238</i>
8.1. Водные экосистемы: геоморфологическое разнообразие и внутренняя среда	239
8.2. Океан в океаносфере и биосфере.....	250
	259

Тема 9. Многоплановая скоррелированность в гидросфере и биосфере	
<i>Введение в тему.....</i>	<i>259</i>
9.1. Различие и сходство косного и живого миров	261
9.2. Водообмен в косных и живых объектах биогидросферы	269
9.3. Объемная плотность распределения «живого вещества» и ее формирующие и корректирующие регуляторы.....	278
9.4. Распределение численности косных и живых тел биосферы по их размерам	284
9.5. Сообитание в общей для всех биосфере.....	289

ВЗГЛЯДЫ И СМЫСЛЫ

I. Научно-публицистический взгляд.....	295
II. Учебно-образовательный взгляд.....	300
III. Кто виноват? Окружающая среда, Гей, или мы сами?.....	303
IV. Дискуссия между авторами: имеет ли <i>Школа</i> прикладное значение?.....	305
Послесловие.....	308
Литература.....	311

Кому і як користуватися цією книгою.	5
---	---

ЧАСТИНА І
НАСЕЛЕНА ОБЛАСТЬ ЗЕМЛІ НА ПОЧАТКУ ХХІ СТОРІЧЧЯ

Тема 1. Земля, наука, освіта.	7
<i>Введення до теми.</i>	<i>7</i>
1.1. Люди, середовище заселення і наука. Введений нарис.	10
1.2. Земні природні об'єкти і їх різноманітність.	20
1.3. Закони всесвітні, біологічні і соціальні: їх спільний вплив у біосфері.	29
1.4. Відображення земної природи у біоекологічній освіті.	39
Тема 2. Самопізнання науки. Методологія.	47
<i>Введення до теми.</i>	<i>47</i>
2.1. 2.1. Методологія. Об'єкти, поняття, образи і концепції.	50
2.2. 2.2. Порівняння, масштаби, типові задачі і моделі.	56
2.3. 2.3. Дисперсія і тренди. «Морфологічна периферія» на ідеальних геометричних фігурах.	63
2.4. 2.4. Уроки науково-методологічної еволюції.	70
Тема 3. Земля, населені простори і заселення як процес.	79
<i>Введення до теми.</i>	<i>79</i>
3.1. Земля як матриця життя.	82
3.2. Заселення як екологічний процес.	90
3.3. Заселення: присвоєння земного простору і володіння ним.	95
3.4. Заселення як присвоєння земної поверхні. Загальна власність на землю.	100
Тема 4. Форми, загальні правила і природні норми заселення.	106
<i>Введення до теми.</i>	<i>106</i>
4.1. Заселеність рослин на тверді, підводній і не тільки.	107
4.2. Заселеність рослин одна на одній.	116
4.3. Заселеність в норах, гніздах, коконах.	120
4.4. Людинонаселення.	125
4.5. Умови, природні правила і норми заселення.	130

ЧАСТИНА ІІ
ОСМИСЛЕНІСТЬ ЖИТТЯ І БІОСФЕРИ.

<i>Введення.</i>	<i>136</i>
Тема 5. Рослини, фітосистеми і фітоієрархія.	139
<i>Введення до теми.</i>	<i>139</i>
5.1. Функціональна морфологія рослини в онтогенезі.	140
5.2. Типізація і формалізація ієрархічно підрядних об'єктів.	144
5.3. Формування населених просторів фітосистем біогенного походження.	148

5.4.	Формування населених просторів фітосистем техногенного походження.....	156
5.5.	Біокосні фітосистеми в метриці біогідросфери.....	160
5.6.	Як організована біосфера? Питання залишається відкритим.....	163
Тема 6. Адаптації, ручне керування і діагностика біокосних об'єктів. ...		168
6.1.	Керування заселенням в біокосних об'єктах.....	168
6.2.	Учбові моделі просторого розподілення рослин на рельєфі Землі.....	177
6.3.	Радіаційна діагностика косних і біокосних об'єктів. Принципи, методи, практика.....	186
Тема 7. Молекулярна екологія.		194
	Введення до теми.	194
7.1.	Учбові образи кільцевих біосферних потоків.....	195
7.2.	Науково-історична подібність «нової хімії» і екології.....	206
7.3.	Екологічний метаболізм.....	211
7.4.	Молекулярні зв'язки і відносини в наземних сукупностях.....	221
7.5.	Косні і живі тіла в потоках води і повітря.....	225
7.6.	Геометричні характеристики водних рослин і адаптація до потоку води.....	232
Тема 8. Водоймища і водні екосистеми.		238
	Введення до теми.....	238
8.1.	Водні екосистеми: геоморфологічна різноманітність і внутрішнє середовище.	239
8.2.	Океан в океаносфері і біосфері.....	250
Тема 9. Багатопланова скорельованість в гідросфері і біосфері.		259
	Введення до теми.	259
9.1.	Різниця і подібність косного і живого світів.....	261
9.2.	Водообмін в косних і живих об'єктах біогідросфери.....	269
9.3.	Об'ємна щільність розподілення «живої речовини» і її формуючі і корекційні регулятори.....	278
9.4.	Розподілення чисельності косних і живих об'єктів за їх розмірами.....	284
9.5.	Співзаселення в загальній для всіх біосфері.....	289

ПОГЛЯДИ І РОЗУМІННЯ

I.	Науково-публіцистичний погляд.	295
II.	Учбово-освітній погляд.....	300
III.	Хто винний? Навколишнє середовище, Гєя, чи ми самі?.....	303
IV.	Дискусія між авторами: чи має <i>Школа</i> прикладне значення?.....	305
	Післямова.	308
	Література.....	311

Наукове видання

**Хайлов Кирило Михайлович, Празукин Олександр Васильович,
Смолев Дмитро Михайлович, Юрченко Юрій Юрійович**

Школа біогеоєкології.

Монографія

Комп'ютерне верстання – О.В. Празукин
Художник обкладинки – С.М. Снігірьов
Дизайн обкладинки – К.М. Хайлов, Л.А. Празукіна

Російською мовою

Научное издание

**Хайлов Кирилл Михайлович, Празукин Александр Васильевич,
Смолев Дмитрий Михайлович, Юрченко Юрий Юрьевич**

Школа биогеоэкологии.

Монография

Компьютерная верстка – А.В. Празукин
Художник обложки – С.М. Снигирёв
Дизайн обложки – К.М. Хайлов, Л.А. Празукина

На русском языке

Підписано до друку 25.05.2009 г.
Папір офсетний Гарнітура Таймс. Формат 70х108 1/16
Друк. арк.. 20,0. Обл. – вид. арк. 28,00
Замовлення № 11. Тираж 400 прим.

Надруковано НВЦ «ЕКОСІ-Гідрофізика»
99011, м. Севастополь, вул. Леніна, 28.
Серія ДК № 914 від 16.02.02 р.



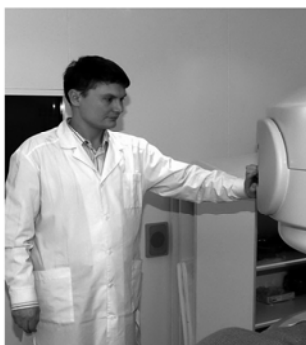
Кирилл Михайлович Хайлов

Родился в 1929 году, окончил ТСХА (Москва) по агрохимическому факультету, кандидат сельскохозяйственных наук, доктор биологических наук (Институт океанологии, Москва), работал в ММБИ АН СССР (Мурманск), затем 35 лет в ИнБЮМ НАН Украины (Севастополь), где организовал лабораторию экологического метаболизма и неизменно руководил ею. Область интересов - Океан и Биосфера.



Александр Васильевич Празукин

Кандидат биологических наук по специальности гидробиология, старший научный сотрудник ИнБЮМ НАН Украины (Севастополь). В 1976 г. окончил биологический факультет Одесского государственного университета имени И. И. Мечникова по специальности физиология растений. Соавтор трех авторских монографий. Область интересов - Функциональная морфология биокосных фитосистем.



Дмитрий Михайлович Смолев

Кандидат медицинских наук, окончил Ярославскую Государственную Медицинскую Академию в 2000 г., ординатуру и аспирантуру по специальности лучевая диагностика в Российском Научном центре рентгенологии (Москва). Область научных интересов: магнитно-резонансная томография опорно-двигательной и нервной системы, сложные случаи денситометрии, биогеоэкология.



Юрий Юрьевич Юрченко

Кандидат биологических наук (2001 г.), выпускник Одесского государственного университета имени И. И. Мечникова (1998 г.). Исполнительный директор Благотворительного Фонда "Институт Ноосферы". В 2008-2009 - стипендиат программы Hubert H. Humphrey, USA.